ÉTUDES ET
RECHERCHES
EN TRANSPORTS

CAISSE DE MÉTRO DE TYPE GRAND GABARIT

ANDRÉ G. FONTAINE

TECHNOLOGIE
ET INSTRUMENTATION

Québec

Canada

CAISSE DE MÉTRO

DE TYPE GRAND GABARIT

ÉTUDE CONCEPTUELLE

No de rapport, Transports Québec: RTQ-88-05

No de rapport, Transports Canada: TP9056F

préparé dans le cadre de l'entente Canada-Québec
sur le développement des transports 1985-1990
Volet recherche et développement

Préparé par Bombardier inc.

90-02828/

Dépôt légal, 2e trimestre 1989
Bibliothèque nationale du Québec
ISBN 2-550-19825-5

Gouvernement du Québec
Ministère des Transports

FICHE ANALYTIQUE DE RAPPORT

Titre et sous-titre du rapport
Caisse de métro de type grand gabarit

Étude conceptuelle phase I

N° du rapport Transports Québec
RTQ-88-05

Rapport d'étape ☐ Rapport final ☒

An	Mois	Jour
88	03	31

N° du contrat

Auteur(s) du rapport
André G. Fontaine

Date du début d'étude 87 01 05
Date de fin d'étude 88 03 31

Coût de l'étude
220 000 $

Étude ou recherche réalisée par (nom et adresse de l'organisme)
Bombardier inc.
Division du transport en commun
1350, rue Nobel
Boucherville, (Québec)
J4B 1A1

Étude ou recherche financée par (nom et adresse de l'organisme)

Ministère des Transports du Québec	55 000 $
Transports Canada	55 000 $
Bombardier inc.	110 000 $

But de l'étude, recherche et renseignements supplémentaires

Étude de faisabilité d'une caisse de métro en acier inoxydable de type grand gabarit

Résumé du rapport

Ce rapport résume le travail accompli au cours de la phase I du projet. C'est une étude conceptuelle qui vise à déterminer l'intérêt et la faisabilité d'une caisse, c'est-à-dire de l'ensemble structural monocoque qui forme l'essentiel d'une voiture de métro.

Les objectifs du projet sont de:

- Développer un design de caisse de métro grand gabarit, en acier inoxydable, qui sera en mesure de répondre adéquatement aux besoins du marché;
- Contribuer au développement des fournisseurs locaux pour le matériel spécialisé;
- Maitriser la technologie de caisse de type grand gabarit.

Dans la première partie de l'étude, on passe en revue les concepts existants. On établit les caractéristiques des voitures en utilisation dans plusieurs villes et on retient les caractéristiques les plus intéressantes.

Dans la section 3 on établit les objectifs de conception. Fondamentalement la voiture devra être légère, sécuritaire, polyvalente et durable. C'est aussi dans ce chapitre qu'on discute des principaux paramètres de conception.

La section 4 contient une description de la caisse prototype et des paramètres de conception. Finalement, l'analyse structurale, la présentation des régions critiques et une discussion des résultats sont présentées à la section 5.

En conclusion, on dit qu'il est possible de concevoir une caisse pour métro qui puisse rencontrer les objectifs posés et on propose de poursuivre le projet en phase II et de construire le prototype.

Nbre de pages	Nbre de photos	Nbre de figures	Nbre de tableaux	Nbre de références bibliographiques	Langue du document	Autre (spécifier)
		10	11		☒ Français ☐ Anglais	

Mots-clés
Caisse, métro, grand gabarit, prototype, chaudron, éléments finis, acier inoxydable.

Autorisation de diffusion
☒ Diffusion autorisée ☐ Diffusion interdite

Signature du directeur général

Date 89 05 17

V-1773 (85-05)

Transport Canada / Transports Canada

PUBLICATION DATA FORM

1. Transport Canada Publication No.	2. Project No.	3. Recipient's Catalogue No.
TP9056F	6854	

4. Title and Subtitle

Caisse de métro de type grand gabarit

5. Publication Date

March 88

6. Performing Organization Document No.

7. Author(s)

André G. Fontaine

8. Transport Canada File No.

D1465-505

9. Performing Organization Name and Address

Bombardier inc.
1350, Nobel
Boucherville, Québec

10. DSS File No.

11. DSS or Transport Canada Contract No.

6854

12. Sponsoring Agency Name and Address

Transports Canada (TDC)
Ministère des Transports du Québec
Bombardier inc.

13. Type of Publication and Period Covered

Final

14. Project Officer

C.A. Versailles

15. Supplementary Notes (Funding programs, titles of related publications, etc.)

16. Abstract

The report summarizes work completed during Phase I of the project. The study's goal was to determine the suitability and feasibility of the carbody i.e. the monocoque structure which is the main part of a subway vehicle. The objectives of the project are:

- To develop a stainless steel carbody for a mass transit, long subway car type which will satisfy the requirements of the market.
- To contribute to the development of local suppliers for specialized materials required.
- To acquire a thorough knowledge of the long type carbody technology.

The first part of the project deals with a review of existing designs used in several North American cities in order to highlight all their characteristics including those which apply to the actual project.

The design objectives established call for a light, safe and reliable vehicle. A discussion of the main design parameters is included in this report.

Phase I included the development of a prototype carbody description and a stress analysis of the framing.

It is proposed to proceed with Phase II i.e. to build the prototype based on the description developed.

17. Key Words	18. Distribution Statement
Carbody, carshell, finite elements, long type, prototype, stainless steel, subway.	Limited number of copies available from Transportation Development Centre

19. Security Classification (of this publication)	20. Security Classification (of this page)	21. Declassification (date)	22. No. of Pages	23. Price

TDC/CDT 79-005
Rev 88

Canada

AVERTISSEMENT

"Les opinions et les vues exprimées dans ce rapport sont celles du contractant et ne reflètent pas nécessairement celles du ministère des Transports du Canada ou du ministère des Transports du Québec."

AVANT-PROPOS

ENTENTE AUXILIAIRE CANADA-QUÉBEC SUR LE DÉVELOPPEMENT DES TRANSPORTS

Le gouvernement du Canada et le gouvernement du Québec concluaient, le 14 décembre 1984, une Entente de développement économique et régional dans laquelle les transports étaient reconnus comme l'une des priorités.

Découlant de cette Entente sur le développement économique et régional, une Entente auxiliaire sur le développement des transports fut conclue le 8 juillet 1985. Cette Entente auxiliaire, qui doit prendre fin le 31 mars 1990, a pour but de favoriser la coordination des efforts du gouvernement du Canada et du gouvernement du Québec dans le domaine des transports, et ce afin d'appuyer le développement économique et régional en facilitant la circulation des personnes et des biens autant à l'intérieur qu'entre les différentes régions du Québec et du Canada de même qu'à l'étranger.

Parmi les cinq volets prévus dans l'Entente auxiliaire, se retrouve un Programme de recherche et développement dont l'objectif est d'augmenter et d'accélérer l'effort de recherche et développement dans le domaine des transports au Québec en visant la préservation et l'amélioration des capacités manufacturières de ce secteur, de même que l'augmentation de la productivité du système de transport afin de s'assurer qu'il bénéficie des progrès techniques et soit compétitif.

Ce Programme comporte quatre secteurs principaux:

- la technologie des systèmes de transport routier;
- la technologie des systèmes de transport ferroviaire;
- les applications de la micro-informatique et de la micro-électronique en transport;
- l'intermodalité des transports.

La présente publication, préparée en vertu de ce Programme, est le rapport final d'un projet que le ministère des Transports du Canada et le ministère des Transports du Québec ont financé conjointement.

SOMMAIRE

INTRODUCTION

Pour être en mesure de répondre aux besoins du marché nord-américain, la Division du transport en commun de Bombardier a décidé de lancer un projet de développement de caisse de métro grand gabarit.

Le projet divisé en deux phases a pour objet d'une part, de définir un concept de caisse et, d'autre part, de planifier, de coordonner et de réaliser les activités de conception de détails, de fabrication et d'essais d'une caisse prototype.

Les principaux objectifs du projet sont de développer un design de caisse de métro grand gabarit fait d'acier inoxydable répondant adéquatement aux demandes du marché, de contribuer au développement des fournisseurs locaux pour le matériel spécialisé et de maîtriser la technologie de développement de caisses de type grand gabarit.

Ce sommaire résume les études effectuées en phase I.

EXAMEN DES MODÈLES EXISTANTS

Avant de définir les paramètres de conception de la caisse, nous avons étudié certaines voitures de métro de grand gabarit qui sont actuellement en usage en Amérique du Nord. Ces voitures sont celles des régies de transport d'Atlanta, de Cleveland, de Miami/Baltimore, de New York, de Toronto et de Washington.

Cette étude a permis d'identifier les paramètres communs à la plupart des voitures de ce type. Ces paramètres communs servent habituellement de base aux spécifications techniques décrivant les futures voitures de métro.

Les besoins potentiels futurs de métro au Canada et aux États-Unis ont aussi été examinés. Les résultats de l'examen du marché nord-américain pour ce type de voitures font ressortir des perspectives qui sont plus favorables à l'achat de voitures de métro grand gabarit qu'au remplacement ou même à la réparation des voitures petit gabarit jusque-là utilisées.

OBJECTIFS DE CONCEPTION

Les objectifs principaux consistent à développer une caisse de métro grand gabarit en acier inoxydable qui sera en mesure de répondre adéquatement aux demandes du marché, de contribuer au développement des fournisseurs locaux pour le matériel spécialisé et de maîtriser la technologie de caisse de type grand gabarit. Ainsi, la caisse devra être légère et polyvalente.

Les aspects tels le poids, la symétrie des faces, l'ajustement possible de la longueur et de la largeur et le côté polyvalent du design guideront la conception de la caisse et de l'outillage d'assemblage.

Le côté polyvalent du design concerne surtout le nombre de loges de conduite, l'interface caisse/bogie et les interfaces avec les divers équipements comme l'unité d'air climatisé, les sièges, les équipements de propulsion et de freinage, etc.

DESCRIPTION DE LA CAISSE

La caisse sera de type monocoque, ce qui permet l'utilisation de chacun des composants pour soutenir les charges. Cette approche permet une utilisation optimale de chacun des composants, obtenant par le fait même une caisse de poids minimum.

Les composants de la caisse seront en acier inoxydable à l'exception des structures des extrémités, soit le sous-châssis de bouts et les structures de bouts qui seront en acier à haute résistance. L'assemblage des éléments se fera principalement par soudage.

La caisse comprend six sous-ensembles qui sont: le pavillon, les deux faces, les deux structures d'extrémités et le sous-châssis central. Les interfaces de ces sous-ensembles ont été conçues de façon à permettre l'ajustement en largeur et en longueur de la caisse.

La caisse est conçue pour répondre adéquatement aux cas de chargements de compression les plus sévères qui soient pour les différentes utilisations des métros grand gabarit, c'est-à-dire 222 500 daN.

ANALYSES STRUCTURALES

Les analyses effectuées en phase I du projet visent essentiellement à vérifier si les composants des différents sous-ensembles de la caisse sont adéquats, de manière à pouvoir poursuivre la conception.

Ces analyses se divisent en trois parties soit: les analyses statiques, les analyses modales ou dynamiques et les analyses de fatigue. Les analyses sont faites par calculs simples ou à l'aide du programme d'éléments finis "ANSYS".

Les résultats des analyses statiques servent surtout à fixer les dimensions des composants. Ces analyses seront reprises avec un modèle de caisse complet, une fois que les autres analyses auront été achevées. Ces derniers résultats indiqueront quels devront être les emplacements des jauges de contraintes pour la réalisation des essais statiques de la caisse prototype, essais qui seront faits à la fin de la phase II du projet.

CONCLUSION

Les résultats des travaux de la phase I démontrent qu'il est possible d'obtenir une caisse de métro grand gabarit répondant aux objectifs originellement posés.

La Division du transport en commun de Bombardier propose donc de poursuivre le projet, c'est-à-dire de fabriquer et de tester la caisse prototype proposée.

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES UTILISÉS

AAR	Association of American Railroads
CAO	Conception assistée par ordinateur
DART	Dallas Area Rapid Transit
FRA	Federal Railroad Administration
MARTA	Metropolitan Atlanta Rapid Transit Authority
MTA	Mass Transit Administration (Baltimore)
NYCTA	New York City Transit Authority
SCRTD	South California Railroad Transit Division
WMATA	Washington Metropolitan Area Transit Authority

daN	DecaNewton
m	mètre
Hz	hertz (cycle/sec)
AW0	Poids de la voiture à vide, sans bogie
AW1	AW0 plus le poids des passagers assis
AW2	AW1 plus le poids des passagers debout (4 passagers/m2)
AW3	AW1 plus le poids des passagers debout (8 passagers/m2)
W	Poids des équipements attachés à la caisse, inclus dans AW0

TABLE DES MATIÈRES

Fiche analytique du rapport RTQ-88-05 iii

Formulaire documentaire du rapport (CDT) iv

AVERTISSEMENT vii

AVANT-PROPOS ix

SOMMAIRE xi

LISTE DES ABRÉVIATIONS ET SYMBOLES UTILISÉS xv

LISTE DES FIGURES xxi

LISTE DES TABLEAUX xxiii

SECTION 1 INTRODUCTION 1

1.1 HISTORIQUE 1
1.2 NATURE DU PROJET 2
1.3 CHEMINEMENT DU PROJET 3
1.3.1 Cheminement du projet Phase I 3
1.3.2 Cheminement du projet Phase II 4
1.4 ORGANIGRAMME 5

SECTION 2 EXAMEN DES CONCEPTS EXISTANTS 7

2.1 INTRODUCTION 7
2.2 ÉTUDE COMPARATIVE DES VOITURES DE MÉTRO GRAND GABARIT EN AMÉRIQUE DU NORD 7
2.2.1 Sommaire des résultats 8
2.3 CONCEPTS EXISTANTS 9
2.3.1 Voiture MARTA d'Atlanta 9
2.3.2 Voiture Miami/Baltimore 9
2.3.3 Voiture R-68 de New York 9
2.3.4 Voitures R-40, R-32 de New York 10
2.3.5 Voiture WMATA de Washington 10
2.3.6 Voitures Cleveland et Toronto 10
2.4 EXAMEN DU MARCHÉ ET DES EXIGENCES GÉNÉRALES 12
2.4.1 Marché 12
2.4.2 Exigences générales 12

2.5 EXAMEN DES VOITURES D'ATLANTA, DE BALTIMORE ET DE NEW YORK 12
2.5.1 Configuration du train 12
2.5.2 Choix des matériaux de la caisse 13
2.5.3 Système d'air climatisé 13
2.5.4 Loge de conduite 13
2.5.5 Opérateurs de portes 13
2.5.6 Pavillon 13
2.5.7 Faces 13
2.5.8 Interface caisse/bogie 14
2.5.9 Sous-châssis de bout 14

SECTION 3 OBJECTIFS DE CONCEPTION 15

3.1 OBJECTIFS DE CONCEPTION 15
3.1.1 Le poids 15
3.1.2 La symétrie des faces 16
3.1.3 L'ajustement de la largeur. 16
3.1.4 L'ajustement de la longueur 16
3.1.5 Le côté polyvalent du design 17
3.1.5.1 Loge de conduite 17
3.1.5.2 Interface caisse/bogie 17
3.1.5.3 Interface avec les équipements 18
3.1.5.4 Design polyvalent. 19
3.2 CONCEPT DE LA CAISSE 20

SECTION 4 DESCRIPTION DE LA CAISSE PROTOTYPE 23

4.1 INTRODUCTION 23
4.2 PARAMÈTRES DE CONCEPTION 24
4.2.1 Dimensions principales 24
4.2.2 Matériaux 25
4.2.3 Formes et ouvertures 25
4.2.4 Critères de chargement 25
4.3 DESCRIPTION DE LA CAISSE PROTOTYPE 25
4.3.1 Pavillon 25
4.3.2 Faces 25
4.3.3 Structure de bouts 26
4.3.4 Sous-châssis central 26

SECTION 5 ANALYSE STRUCTURALE 33

5.1 INTRODUCTION 33
5.2 CRITÈRES DE CHARGEMENT 33
5.2.1 Charge verticale 33
5.2.2 Chargements de compression à la limite élastique . 34
5.2.3 Charges au poteau de collision 35
5.2.4 Charges au poteau de coin 35
5.2.5 Charges combinées en opération 35
5.2.6 Charges à l'interface caisse/bogie à la limite élastique 36

5.2.7 Charges de levage 36
5.2.8 Chargement statique sur le pavillon 36
5.2.9 Résistance en cas de collision 36
5.3 MÉTHODES D'ANALYSE 37
5.3.1 Analyse statique 37
5.3.2 Analyse modale 37
5.3.3 Analyse de fatigue 37
5.4 PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET CONTRAINTES PERMISES 38
5.5 RÉSULTATS DES ANALYSES 41
5.5.1 Résultats de l'analyse statique 41
5.5.2 Analyse de fatigue 47
5.5.3 Sommaire d'évaluation et liste des actions à entreprendre 49

SECTION 6 CONCLUSION 55

LISTE DES FIGURES

CONCEPT DE LA CAISSE PROTOTYPE 21

ENSEMBLE GÉNÉRAL - CAISSE PROTOTYPE 27

FIGURE 4.1.1 NOMENCLATURE DU CHAUDRON 28

FIGURE 4.1.2 NOMENCLATURE DU CHAUDRON 29

FIGURE 4.1.3 NOMENCLATURE CHASSIS 30

FIGURE 4.1.4 POLYVALENCE DU DESIGN 31

FIGURE 5.5 MODÈLE POUR L'ANALYSE PAR ÉLÉMENTS FINIS 51

FIGURE 5.5.1/1 RÉGIONS CRITIQUES 52

FIGURE 5.5.1/2 RÉGIONS CRITIQUES 53

FIGURE 5.5.1/3 RÉGIONS ET COMPOSANTES CRITIQUES 54

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 2.1	Principaux paramètres caractérisant les concepts étudiés	11
Tableau 5.4.1	Spécifications des matériaux	39
Tableau 5.4.2	Propriétés mécaniques	39
Tableau 5.4.3	Contraintes maximales permises	40
Tableau 5.5.1	Sommaire des résultats de l'analyse statique	42
Tableau 5.5.2	Sommaire des résultats de l'analyse statique	42
Tableau 5.5.3	Sommaire des résultats de l'analyse statique	43
Tableau 5.5.4	Sommaire des résultats de l'analyse statique	43
Tableau 5.5.5	Sommaire des résultats de l'analyse statique	44
Tableau 5.5.6	Sommaire des résultats de l'analyse statique	45
Tableau 5.5.7	Faisabilité de l'ajustement de la longueur et de la largeur de la caisse.	46

SECTION 1

INTRODUCTION

1.1 HISTORIQUE

Au cours des quatre ou cinq dernières décennies, les modes de transport en commmun en Amérique du Nord ont beaucoup évolué. Au milieu du siècle, l'apparition des moteurs à combustion interne performants a eu pour effet de favoriser l'autobus au détriment des tramways pourtant utilisés jusque-là avec succès. Toutefois, l'augmentation rapide du nombre de véhicules routiers a contraint les grandes villes (et leurs banlieues) à s'organiser pour avoir des modes de transports en commun de plus haute capacité et non restreints par les mouvements de la circulation (surtout en ville). Ainsi, on vit s'implanter de plus en plus de systèmes de transport en commun tels les métros, les trains de banlieue et plus récemment les tramways articulés. Cependant, cette évolution dans les modes de transport en commun n'a pu s'effectuer sans que certains de ces modes n'en soient affectés.

Par exemple, les voitures de métro du type court (ex. Montréal), reconnues depuis longtemps pour leur haute capacité et qui ont eu beaucoup de succès durant les années soixante et soixante-dix, sont de plus en plus appelées à être utilisées par des régies qui ont déjà une infrastructure qui ne peut accommoder sans modifications majeures des voitures plus longues.

Présentement, les régies de transport qui installent de nouveaux systèmes de métro vont, pour des raisons de capacité et de coût par passager, vers des métros de type grand gabarit.

L'examen des récentes applications dans les villes densément peuplées d'Amérique du Nord le prouve. Les villes d'Atlanta, Miami, Baltimore, Washington, Cleveland, Toronto et New York utilisent ce type de voitures. Les villes de Los Angeles et Dallas acquerront prochainement des voitures du même type. Ce type de voitures sera de plus en plus en demande au cours des prochaines décennies.

Pour être en mesure de s'implanter dans ce type de marché et pour concurrencer avantageusement les fabricants européens et japonais, la Division du transport en commun de Bombardier, avec le support des gouvernements du Québec et du Canada, a décidé de lancer un projet de développement de caisse de métro grand gabarit.

1.2 NATURE DU PROJET

Le projet se divise en deux phases. La phase I, originellement d'une durée de 9 mois, a été prolongée de trois mois pour se terminer en février 1988. Elle comprend l'examen des concepts existants et la conception préliminaire des sous-ensembles majeurs de la structure de la caisse. La phase II consistera en la conception finale, l'assemblage et les essais de la caisse prototype.

Les principaux objectifs du projet sont de:

- Développer un design de caisse de métro grand gabarit, en acier inoxydable, qui sera en mesure de répondre adéquatement aux demandes du marché.

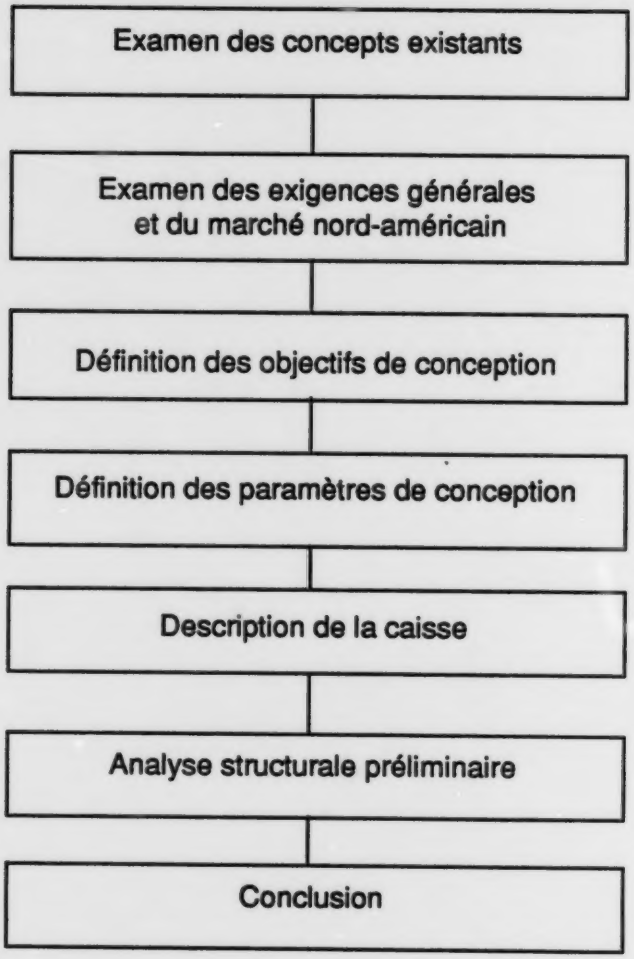
- Contribuer au développement des fournisseurs locaux pour le matériel spécialisé.

- Maitriser la technologie de caisse de type grand gabarit.

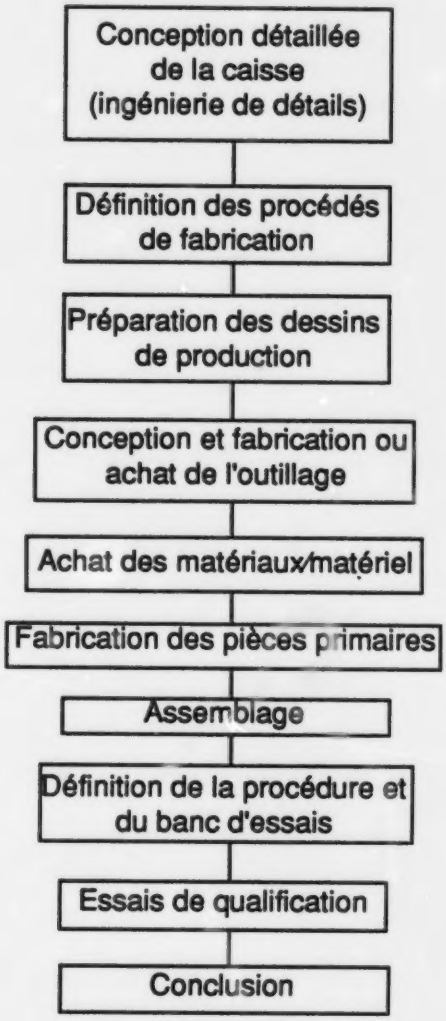
Ce nouveau concept de caisse de métro grand gabarit permettra de concurrencer les fabricants européens et japonais pour les caisses de métro grand gabarit en acier inoxydable.

1.3 CHEMINEMENT DU PROJET

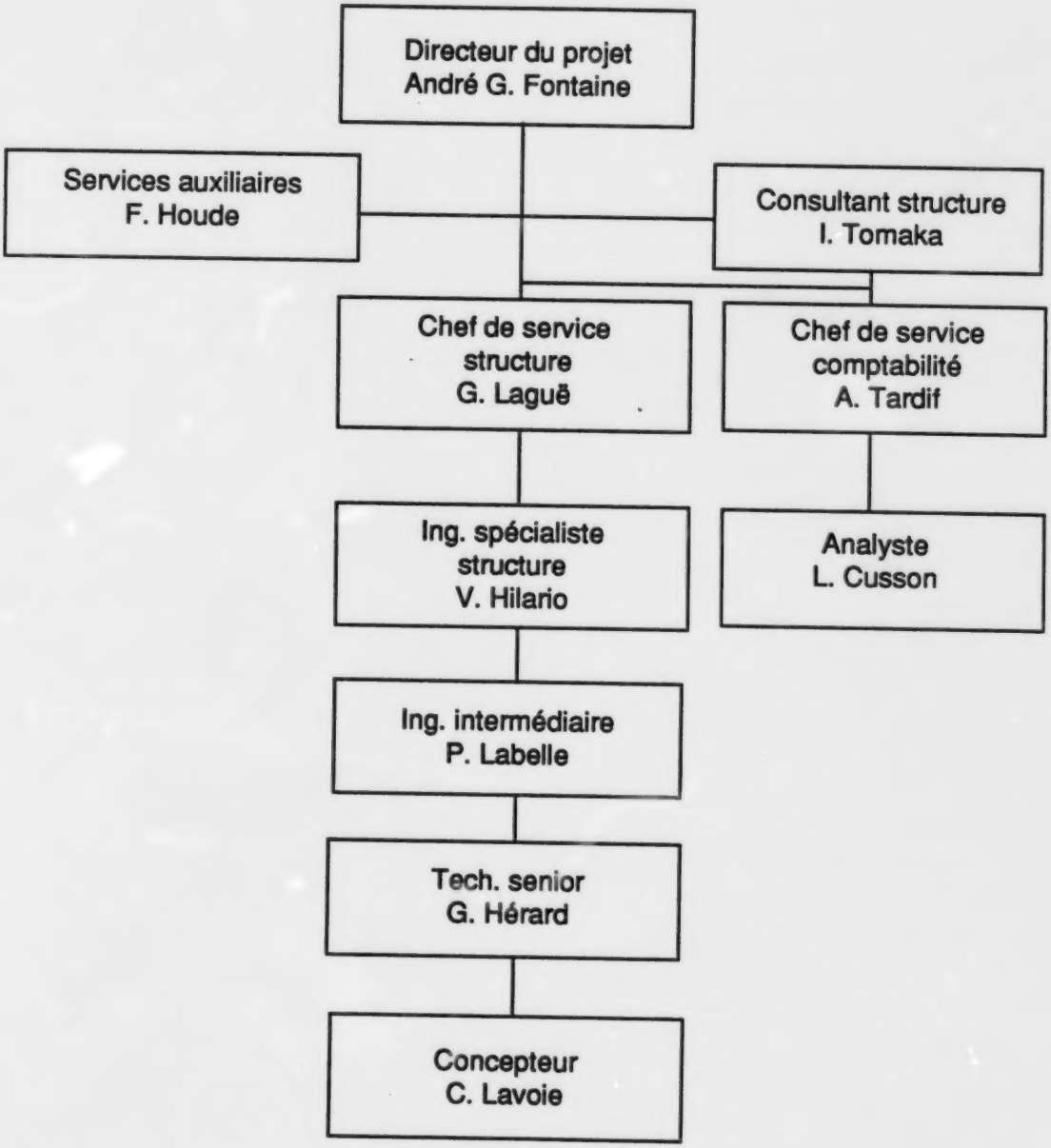
1.3.1 Cheminement Phase I



1.3.2 Cheminement - Phase II



1.4 ORGANIGRAMME



SECTION 2

EXAMEN DES CONCEPTS EXISTANTS

2.1 INTRODUCTION

Le but principal étant de répondre aux exigences du marché nord-américain pour une voiture de métro de type grand gabarit, il était primordial de passer en revue les designs existants sur lesquels sont habituellement basées les nouvelles spécifications.

Cette revue a permis de déterminer les orientations technologiques qui prédominent dans l'industrie ainsi que les différentes exigences de charge.

2.2 ÉTUDE COMPARATIVE DES VOITURES DE MÉTRO GRAND GABARIT EN AMÉRIQUE DU NORD

Dans le cadre de cette étude, les voitures de métro de huit régies de transport ont été examinées pour un total de dix voitures dont trois de la régie de New York. Ces voitures sont celles d'Atlanta, de Miami/Baltimore, de New York, de Washington, de Toronto, de Cleveland, de Dallas et de Los Angeles. Les voitures des six premières régies sont existantes et en opération. Celles de Dallas et de Los Angeles n'existent pas encore mais sont décrites dans les spécifications techniques déjà transmises aux fabricants potentiels. Le sommaire suivant présente les principaux paramètres des voitures évaluées.

2.2.1 Sommaire des résultats

a) Dimensions

- Longueur entre les attelages: sept voitures sur dix ont 22,86 m. La longueur des autres apparait au tableau 2.1.
- Largeur hors-tout: elle varie de 3,05 m à 3,20 m.
- Hauteur totale: elle varie de 3,61 m à 3,71 m pour neuf voitures et est de 3,30 m pour l'autre.
- Distance entre les bogies: pour deux voitures sur dix, elle est de 13,59 m tandis que, pour les huit autres, elle varie de 15,85 m à 16,46 m.

b) Matériaux

Deux voitures sont en aluminium tandis que les autres sont en acier inoxydable.

c) Profil des faces

Cinq voitures ont des faces courbées tandis que quatre ont des faces droites. La spécification DALLAS accepte les deux types de faces.

d) Ouvertures

- Nombre de portes par côté: quatre voitures ont quatre portes tandis que les six autres en ont trois.
- Nombre de fenêtres entre les portes: le nombre varie d'une à deux fenêtres pour les voitures à quatre portes et de deux à quatre fenêtres pour les voitures à trois portes.
- Nombre de fenêtres entre la porte au bout et le bout de la voiture: il varie d'une à deux fenêtres.

e) Résistance mécanique

Les critères de résistance mécanique de la majorité des administrations clientes sont quasi identiques et reflètent les normes de design selon lesquelles les caisses doivent résister à une charge de compression de 90 000 daN. Toutefois, les voitures de métro de New York doivent être conformes à des normes plus spécifiques selon lesquelles une caisse doit résister à une charge de compression de 222 500 daN. Plusieurs

normes utilisées par New York sont conformes aux normes de l'AAR ("Specifications for the construction of new passenger equipment cars", standard S-034-69).

2.3 CONCEPTS EXISTANTS

Les paragraphes suivants décrivent brièvement les six types de voitures qui ont été examinées.

2.3.1 Voiture MARTA d'Atlanta

La première génération de voitures MARTA faites d'aluminium, construites par Franco-Belge et la seconde, faites d'acier inoxydable, construites par Hitachi, ont toutes deux exactement les mêmes dimensions et la même configuration. Elles ont des faces courbées et trois portes sur chacun des côtés. La flotte comprend des voitures uniques et des éléments à deux voitures, ce qui permet une efficacité d'opération maximale. Il faut noter que le design de la voiture MARTA a servi à établir la spécification actuelle de la voiture de métro DART (Dallas).

2.3.2 Voiture Miami/Baltimore

Ce sont des voitures en acier inoxydable ayant des faces droites et trois portes par côté. Ce type de voitures a été conçu, à l'origine, pour devenir un modèle de référence en Amérique du Nord pour les voitures de métro grand gabarit. Ce modèle a servi de base aux consultants de SCRTD (Los Angeles) pour établir les spécifications de leur voiture de métro.

2.3.3 Voiture R-68 de New York

La voiture R-68 se différencie sensiblement des autres designs étudiés à cause des normes spécifiques plus sévères requises par la NYCTA pour ses voitures métro telles que montrées au tableau 2.1.

La distance entre les centres de bogies est plus longue (16,46 m vs 15,85 m - 15,00 m) que celle des autres voitures semblables. Les faces sont légèrement courbées avec quatre

portes par côté et une grande fenêtre entre les portes. À titre de comparaison, la majorité des designs existants ou récemment spécifiés ont deux ou trois portes par côté. Large de 3,05 m, elle est la voiture de métro grand gabarit la plus étroite en Amérique du Nord.

2.3.4 Voitures R-40, R-32 de New York

Ces voitures de type grand gabarit diffèrent des autres véhicules étudiés principalement par leur longueur, soit 18,44 m et par la distance entre le centre de leurs bogies, soit 13,59 m. Les normes ayant guidé leur design sont identiques à celles utilisées pour la voiture R-68. Leur largeur et leur nombre de portes par côté sont similaires à ceux de la voiture R-68. La voiture R-40 présente une face galbée alors que celle de la voiture R-32 est droite.

2.3.5 Voiture WMATA de Washington

Cette voiture se différencie des autres véhicules étudiés principalement à cause des particularités suivantes: une construction d'aluminium et une plus faible hauteur totale comparativement à celles des autres voitures.

2.3.6 Voitures Cleveland et Toronto

Ces deux designs ont aussi été examinés. Ils ont beaucoup de points en commun avec les designs précédemment discutés et, pour cette raison, leurs caractéristiques n'ont pas été incluses dans le tableau 2.1 de la page suivante.

PRINCIPAUX PARAMÈTRES CARACTÉRISANT LES CONCEPTS ÉTUDIÉS

TABLEAU 2.1

PARAMÈTRES	ATLANTA (MARTA)	MIAMI/BALT	NEW YORK (R-68)	WASHINGTON (WMATA)	NEW YORK (R-40, R-32)
Longueur totale	23,00 m	23,00 m	23,00 m	23,00 m	18,44 m
Largeur totale	3,20 m	3,12 m	3,05 m	3,09 m	3,05 m
Hauteur totale	3,61 m	3,66 m	3,70 m	3,30 m	3,71 m
Hauteur du plancher	1,12 m	1,11 m	1,18 m	1,02 m	1,18 m
Distance entre les bogies	16,00 m	15,85 m	16,46 m	15,85 m	13,59 m
Nombre de portes/côté	3	3	4	3	4
Hauteur des portes	2,01 m	1,93 m	1,89 m	1,93	1,89 m
Largeur des portes	1,27 m	1,23 m	1,27 m	1,27 m	1,27 m
Nombre de fenêtres /côté	6+2 (cab)	6+1 (cab)	3	6+2 (cab)	3
Hauteur des fenêtres	0,81 m	0,82 m	0,91 m	0,92 m	
Largeur des fenêtres	1,14 m	1,52 m	1,52 m	1,42 m	
Charge de compression	90 000 daN	90 000 daN	222 500 daN	90 000 daN	222 500 daN
Forme des faces	courbée	droite	courbée	courbée	courbée/droite
Matériaux	aluminium ou acier inoxydable	acier inoxydable	acier inoxydable	aluminium	acier inoxydable

2.4 EXAMEN DU MARCHÉ ET DES EXIGENCES GÉNÉRALES

2.4.1 Marché

L'étude du marché nord-américain pour ce type de voitures de métro montre que les perspectives sont plus favorables pour l'achat de voitures de métro grand gabarit pour les nouveaux systèmes de transport que pour le remplacement ou la remise à neuf des voitures de plus petit gabarit qui ont plus de 25 ans.

Durant la dernière année, les villes de Dallas et Los Angeles ont émis de nouvelles spécifications techniques régissant les voitures de métro grand gabarit en prévision d'éventuelles acquisitions. La ville de New York a également émis une spécification concernant le développement d'une caisse de métro grand gabarit. Les perspectives du marché à court et moyen terme sont donc très intéressantes.

2.4.2 Exigences générales

L'étude des concepts existants et l'examen des exigences techniques pour Dallas, Los Angeles et New York montrent qu'il y a des paramètres qui sont communs ou qui sont peu modifiés sur les différentes voitures étudiées. Ces paramètres concernent principalement la longueur, la largeur, la hauteur du plancher, le nombre de portes, etc.

Même s'il est impossible de concevoir une caisse pouvant répondre simultanément à toutes les exigences de tous les clients éventuels, certains paramètres peuvent être retenus. La prochaine section regroupe les paramètres identifiés à partir des objectifs de conception et des diverses exigences du marché.

2.5 EXAMEN DES VOITURES D'ATLANTA, DE BALTIMORE ET DE NEW YORK

Des visites ont été effectuées afin d'inspecter les voitures des régies de transport d'Atlanta (MARTA), de Baltimore (MTA) et de New York (NYCTA). Les principaux points qui ont été retenus sont décrits dans les paragraphes qui suivent.

2.5.1 Configuration du train

La flotte de MARTA comprend des trains d'une à huit voitures. Celle de MTA (Baltimore) comprend des trains de deux à six voitures. Celle de NYCTA comprend des trains de

quatre à six voitures de 22,86 m et de six à dix voitures de 18,44 m. Les trois régies préfèrent utiliser des paires attachées de façon semi-permanente pour les raisons suivantes:

- flexibilité d'opération;
- efficacité du système de freinage;
- avantages en raison du partage des équipements.

2.5.2 Choix des matériaux de la caisse

La flotte de MARTA comprend des voitures en aluminium et en acier inoxydable. Les voitures de MTA et de NYCTA sont en acier inoxydable seulement.

2.5.3 Système d'air climatisé

Les trois régies utilisent des systèmes séparés d'air climatisé qui comprennent des évaporateurs montés dans le pavillon et des compresseurs attachés au sous-châssis.

2.5.4 Loge de conduite

MARTA et MTA: Pleine largeur.
NYCTA : Demi-largeur et pleine largeur (R-68).

La circulation de passagers par les loges de conduite n'est permise qu'en cas d'urgence.

2.5.5 Opérateurs de portes

MARTA et MTA: Installés à mi-hauteur de face; préférables pour la facilité d'entretien.

NYCTA : Installés à mi-hauteur de face (R-68) et au niveau du plancher (R-40 et R-32).

2.5.6 Pavillon

MARTA, MTA et NYCTA: Tôle ondulée.

2.5.7 Faces

- Voitures de MTA et de NYCTA (R-32): profil droit.

- Voitures de MARTA et de NYCTA (R-40 et R-68): profil galbé.

- Voitures MARTA, MTA et NYCTA (R-40, R-68): Tôle ondulée à la partie inférieure de la fenêtre, tôle plate à la partie supérieure. Tôle ondulée sur toute la superficie des faces pour la voiture R-32 de NYCTA.

2.5.8 Interface caisse/bogie

- MARTA et NYCTA: pivot central.

- MTA : barres de traction.

2.5.9 Sous-châssis de bout

MARTA, MTA et NYCTA: Combinaison d'acier inoxydable et d'acier à haute résistance faiblement allié.

SECTION 3

OBJECTIFS DE CONCEPTION

3.1 OBJECTIFS DE CONCEPTION

Les objectifs principaux consistent à développer une caisse de métro grand gabarit, en acier inoxydable, qui sera en mesure de répondre adéquatement aux exigences du marché, de contribuer au développement des fournisseurs locaux pour le matériel spécialisé et de maitriser la technologie de caisse de type grand gabarit. La caisse devra être légère et polyvalente.

Les aspects tels le poids, la symétrie des faces, l'ajustement possible de la longueur et de la largeur et le côté polyvalent du design ont aidé à définir les principaux paramètres de la caisse et guideront la conception de l'outillage d'assemblage. Ainsi, un tel outillage rendra possible la fabrication d'une famille de caisses et contribuera à maintenir les coûts de fabrication à un niveau minimal.

La conception de la caisse doit résulter en un produit utilisant des sous-ensembles modulaires (portes, fenêtres, loge de conduite, sous-châssis, structure de bouts, etc.) contribuant ainsi à la polyvalence de la caisse. La structure de la caisse, tout en optimisant les aspects mentionnés ci-haut, sera conçue pour répondre adéquatement aux cas de chargement en compression les plus sévères requis pour les métros grand gabarit.

Ces aspects sont expliqués ci-après.

3.1.1 Le poids

La réduction du poids de la caisse a pour principal effet de réduire les coûts d'énergie inhérents à la propulsion et au freinage de la voiture. Pour cette raison, les exigences concernant les poids cibles à ne pas excéder sont de plus en plus sévères.

Pour répondre à ces exigences, la caisse prototype est du type monocoque et le poids des éléments qui en font partie est calculé au fur et à mesure qu'ils sont ajoutés à la caisse. Les résultats des analyses de contraintes permettent, s'il y a lieu, l'optimisation des pièces structurales afin de minimiser leurs poids. Ceci permet d'obtenir une caisse légère.

3.1.2 La symétrie des faces

La facilité de construction d'une caisse est maximisée lorsque la symétrie de la caisse est complète, c'est-à-dire que les deux moitiés de la caisse (suivant l'axe longitudinal) sont identiques. Cette symétrie s'applique également aux loges de conduite.

Une deuxième solution, tout aussi valable, est de réaliser une face droite et une face gauche de telle manière que la face gauche soit l'équivalent de la face droite tournée de cent quatre-vingt (180) degrés. La seule partie distincte dans ces deux faces est la portion allouée à la loge de conduite.

Ainsi, au point de vue fabrication, un seul moule sera utilisé pour la construction des deux faces incluant les portions réservées aux loges de conduite.

Ce type d'outillage polyvalent facilitera l'assemblage et minimisera les coûts de fabrication.

3.1.3 L'ajustement de la largeur (voir fig. 4.1.4)

L'étude des concepts existants et des exigences du marché montre que la largeur des caisses de métro grand gabarit peut varier de 3,05 m à 3,20 m.

Pour être en mesure de répondre à la plupart des exigences concernant les largeurs, la caisse est conçue de façon à ce qu'elle puisse être fabriquée dans une telle gamme de largeurs. L'ajustement de la largeur sera réalisée en variant la longueur des traverses et la largeur du revêtement du pavillon et du plancher. L'outillage devra permettre cette variation de largeurs afin de minimiser les coûts de fabrication. Le tableau 5.5.7 démontre qu'il est possible d'ajuster la largeur de la caisse.

3.1.4 L'ajustement de la longueur (voir fig. 4.1.4)

Il ressort de l'examen des concepts existants et des exigences du marché que la longueur des caisses de métro grand gabarit varie entre 20 m et 23 m. Pour se conformer aux différentes exigences, la conception de la caisse et des interfaces de ses sous-ensembles devra permettre l'ajustement de la longueur, selon la faisabilité de l'outillage. L'outillage d'assemblage devra pouvoir accommoder cette option afin de minimiser les coûts de production.

L'ajustement de la longueur de la caisse sera réalisée en variant la longueur de celle-ci entre les deux traverses de pivot. Les faces, le pavillon et le sous-châssis central seront affectés lors d'un tel changement. Le tableau 5.5.7 démontre la faisabilité de l'ajustement de la longueur.

3.1.5 Le côté polyvalent du design

Ceci concerne surtout les loges de conduite, l'interface caisse/bogie et les interfaces avec les divers équipements (compresseur, unité d'air climatisé, sièges, etc.).

3.1.5.1 Loge de conduite

Pour ce type de matériel roulant, il existe trois types de voitures, c'est-à-dire des voitures sans loge de conduite, des voitures à une loge de conduite et des voitures à deux loges de conduite.

Les exigences varient d'une administration cliente à une autre mais, dans la plupart des cas, les voitures de métro grand gabarit sont attachées par groupe de deux ou de trois et, dans ce dernier cas, une voiture sans loge de conduite est utilisée entre deux voitures avec loge de conduite.

La caisse pourra donc, grâce à sa symétrie, être fabriquée avec ou sans loge de conduite sans que cela n'affecte vraiment les coûts de fabrication (outillage et assemblage).

3.1.5.2 Interface caisse/bogie

Deux types d'interface caisse/bogie sont présentement utilisés dans l'industrie. L'un se compose de barres de traction sur la traverse de pivot tandis que l'autre est constitué d'un pivot central et d'une variante appelée "center plate".

La conception de la caisse devra être orientée vers le type d'interface appelé pivot central. Cette version est de plus en plus utilisée et, parce qu'elle est plus complexe du point de vue structural, elle permet d'adapter, s'il y a lieu, l'interface, pour accommoder un bogie lié à

la caisse par des barres de traction sans que cela ne nécessite de modifications majeures.

3.1.5.3 Interface avec les équipements

Les sous-ensembles dont il est question sont le sous-châssis, le pavillon et les faces intérieures de la caisse.

a) Sous-châssis

En ce qui concerne le sous-châssis, deux types de systèmes d'équipements sont présentement utilisés dans l'industrie. Dans le premier type, chaque voiture a son système complet et est indépendante du point de vue de l'équipement. Dans l'autre, un groupe de deux voitures attachées de façon semi-permanente partagent certains équipements majeurs (réservoir d'air, compresseur, batterie, etc.). Le premier type est celui qui est le plus intéressant car il représente un cas extrême pour la structure de caisse du fait qu'il inclut tous les équipements nécessaires au fonctionnement indépendant d'une voiture. Il a été retenu pour la conception de la partie centrale du sous-châssis. L'aménagement des équipements principaux suivants devra être considéré lors de la conception:

- compresseur/système d'air climatisé
- réservoir d'air
- boite de batterie
- résistances (système de freinage)
- convertisseur
- contrôle de propulsion.

La polyvalence de la position des traverses de plancher permettra d'attacher les équipements aux points désirés.

b) Pavillon

Le type et l'emplacement des unités d'air climatisé doivent absolument être considérés lors de la conception de la structure du pavillon. Deux types de systèmes d'air climatisé pourraient être requis. Le premier, du type unité séparée, se compose

d'un compresseur situé sous la caisse et d'un évaporateur situé dans le pavillon. Cette configuration est très souvent utilisée dans l'industrie. Le deuxième, du type unité monobloc et amovible, comprend un évaporateur et un compresseur intégré et s'installe sur le pavillon.

Cette deuxième configuration nécessite une ouverture importante dans la structure du pavillon. Cet arrangement représente le cas le plus difficile pour la structure et a été retenu pour cette raison.

c) Faces intérieures

Deux types d'interfaces pour attacher les sièges sont à l'étude. Le premier type se compose de supports fixés à la structure des faces et de supports fixés au plancher. Ce type est celui qui est le plus souvent utilisé dans l'industrie. L'autre type nécessite des sièges entièrement supportés en porte-à-faux à la structure des faces. Il est requis dans quelques nouvelles spécifications techniques. Par rapport au premier type (avec supports), il offre des avantages en réduisant le nombre de points de fixation et offre plus d'accès en-dessous des sièges. Ce type représente le cas le plus difficile pour la structure des faces et, pour cette raison, il a été retenu.

3.1.5.4 Design polyvalent

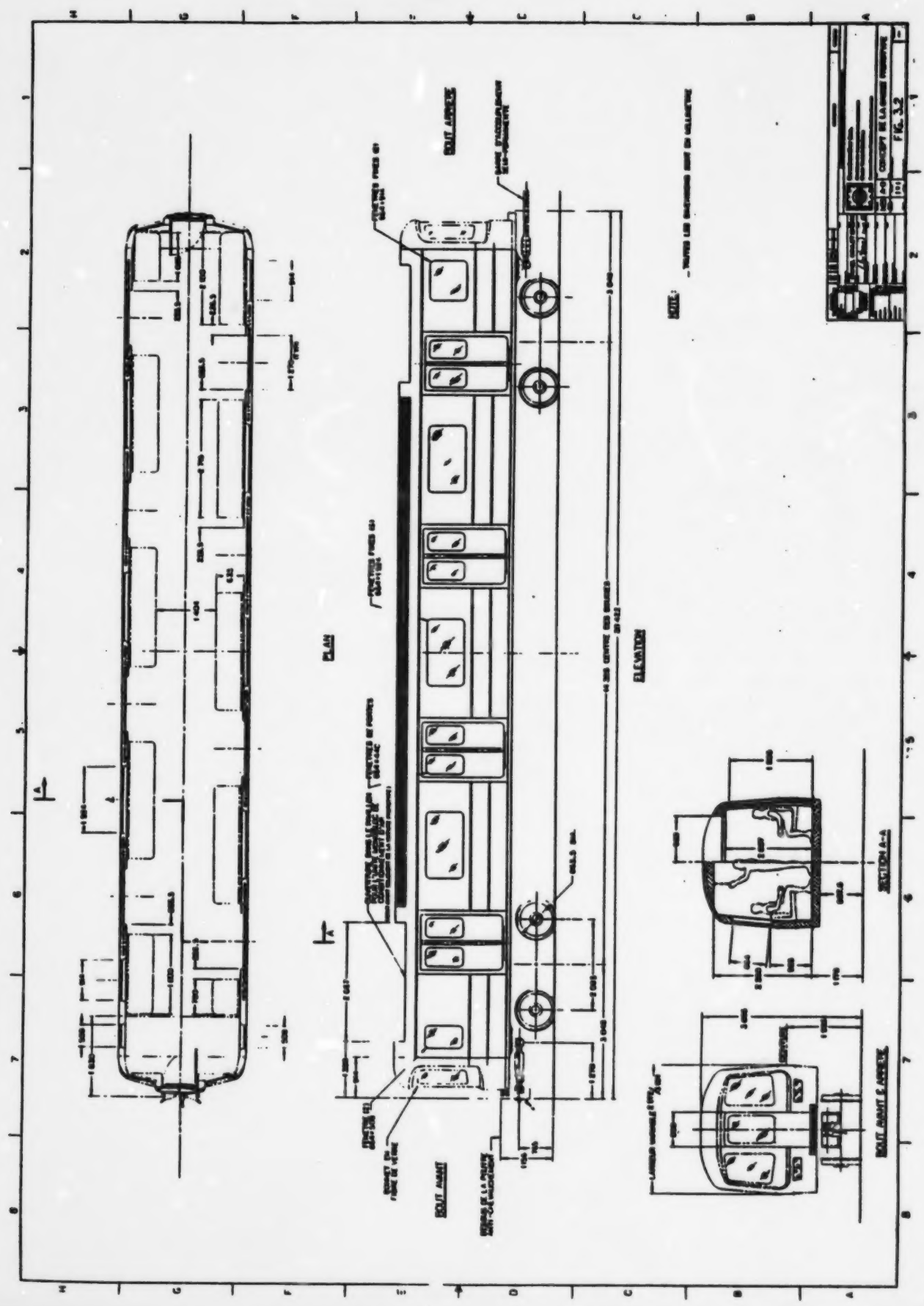
Ce tableau inclut les différentes parties de la caisse qui devront être modifiées et celles qui demeureront inchangées suivant une variation des exigences de charge existantes ou une modification donnée à la géométrie (une à la fois).

Changements possibles	Parties affectées	Parties inchangées
1) exigences de charge de compression	sous-châssis de bout brancard	pavillon faces poteaux de collision bout sous-châssis central voussoir
2) disposition des portes/fenêtres	faces	toutes les autres
3) disposition des sièges	faces (changements mineurs)	toutes les autres
4) entre-axe bogies	sous-châssis	toutes les autres
5) longueur du véhicule	sous-châssis central faces et pavillon (changements mineurs)	toutes les autres
6) largeur du véhicule	sous-châssis pavillon et les bouts	toutes les autres
7) type d'interface caisse/bogie	sous-châssis central	toutes les autres
8) exigences aux poteaux de collision	poteaux de collision sous-châssis de bout	toutes les autres

3.2 CONCEPT DE LA CAISSE

Le concept de la caisse est présenté à la figure 3.2.

La figure 4.1.4 illustre les aspects de polyvalence du design. Les zones de rattrapage pour permettre d'ajuster la longueur et la largeur y sont aussi montrées.


PLAN
ELEVATION
SECTION A-A
FIG. 3.2

SECTION 4

DESCRIPTION DE LA CAISSE PROTOTYPE

4.1 INTRODUCTION

La caisse prototype à construire est montrée aux figures 4.1 et 4.1.1 à 4.1.3.

La caisse est de type monocoque. Ce type de structure permet d'utiliser tous les composants pour soutenir les charges qui sont le poids de la caisse et de ses équipements et la charge des passagers. Cette approche permet une utilisation efficace de chaque composant. Il en résulte donc une structure de caisse légère.

Les composants de la caisse seront en acier inoxydable à l'exception des structures de bouts, soient le sous-châssis et les structures de bouts, qui seront en acier à haute résistance. Ces aciers sont choisis à cause de leur haute résistance mécanique, de leur soudage facile, de leur résistance à la corrosion et de leur compatibilité avec l'acier inoxydable. L'assemblage des éléments de la caisse se fera principalement par soudage, sauf aux endroits inaccessibles. À ces endroits, la liaison des pièces sera assurée par des boulons et/ou par des rivets.

La caisse se divise en six sous-ensembles principaux: le pavillon, les deux faces, les deux structures de bouts et le sous-châssis central. L'arrangement général des caisses et de leurs sous-ensembles est présenté aux figures 4.1.1 à 4.1.3. Les interfaces entre chaque composant ont été conçues de manière à permettre aisément certains ajustements de la largeur et de la longueur de la caisse. Cette facilité d'ajustement est essentielle non seulement pour répondre à l'objectif de longueur et de largeur ajustables de la caisse, mais aussi pour assurer un meilleur contrôle des tolérances durant la fabrication. La figure 4.1.4 illustre les zones de rattrapage pour de telles variations.

La conception de l'outillage pour l'assemblage de la caisse prototype incorporera les aspects suivants: l'ajustement de la longueur et de la largeur de la caisse, la symétrie des faces et le côté polyvalent du design de la caisse tels qu'expliqués à la section 3. Cette polyvalence de l'outillage d'assemblage contribuera à maintenir les coûts de production à un niveau

minimal puisque celui-ci pourra servir à la fabrication d'une famille de caisses.

4.2 PARAMÈTRES DE CONCEPTION

Les principaux paramètres de conception choisis pour la caisse prototype sont résumés dans les paragraphes suivants. La caisse est décrite à la section suivante.

4.2.1 Dimensions principales

	Caisse prototype (m)
. Longueur hors-tout aux faces des attelages	20,422
. Hauteur au-dessus du rail:	
- du toit	3,696
- du plancher	1,178
- du centre de l'attelage	0,765
. Largeur:	
- au niveau de la ceinture de la caisse	2,972
- au niveau du plancher et du voussoir	3,048 et 2,743
. Distance entre les centres des bogies	14,326
. Rayon minimum du rail:	
- horizontal/cour	38,100
- horizontal/ligne	38,100
- vertical	609,600
. Dimensions des portes:	
- hauteur libre, porte de côté	1,905
- hauteur libre, porte de bout	1,962
- largeur libre, porte de côté	1,270
- largeur libre, porte de bout	0,838
. Dimensions des fenêtres:	
- hauteur libre, fenêtre de côté	0,864
- hauteur libre, fenêtre des extrémités	à déterminer
- largeur libre	à déterminer

4.2.2 Matériaux

- Les faces, le pavillon et le sous-châssis central seront en acier inoxydable.

- La structure de bouts sera faite d'acier inoxydable et/ou d'acier à haute résistance faiblement allié.

L'acier inoxydable devra répondre aux normes AISI 301L. L'acier à haute résistance faiblement allié devra quant à lui répondre aux normes ASTM A-606, A-588 ou A-242.

4.2.3 Formes et ouvertures

Voir la figure 3.2.

4.2.4 Critères de chargement

Les critères de charge de compression les plus sévères ont été utilisés. Ainsi il sera plus facile d'élaborer une future caisse, à partir du prototype étudié, répondant au critère de charge de compression le plus sévère que de modifier une caisse conçue pour une charge de compression moindre. Ces critères sont donnés au paragraphe 5.2.

4.3 DESCRIPTION DE LA CAISSE PROTOTYPE

4.3.1 Pavillon

Le pavillon se compose de traverses, de tôles cannelées en sa partie centrale et de tôles unies sur les côtés. Chaque extrémité du pavillon est munie d'une ouverture pour l'unité d'air climatisé. La résistance structurale de cette ouverture est assurée par des raidisseurs et des tôles de renfort qui bordent l'ouverture du trou. Les traverses seront faites en forme de "Z" et seront formées par étirage. Advenant le cas où la largeur de la caisse varierait, l'ajustement de la largeur sera réalisé en variant la longueur des traverses et la largeur du revêtement.

4.3.2 Faces

Les composants des faces sont:

- des brancards aux jonctions avec le sous-châssis;
- des voussoirs au niveau du pavillon;

- des montants principaux aux portes et aux fenêtres;
- des revêtements plats dans la partie supérieure des fenêtres et partiellement cannelés dans la partie inférieure;
- des plaques de renfort et des raidisseurs.

Les brancards, les voussoirs et les montants auront des formes roulées. Le procédé d'étirage sera aussi utilisé pour réaliser la courbure des montants.

Les montants et les raidisseurs longitudinaux au-dessous des fenêtres ont été conçus pour que les sièges puissent être supportés par un pied ou être en porte-à-faux.

4.3.3 Structure de bouts

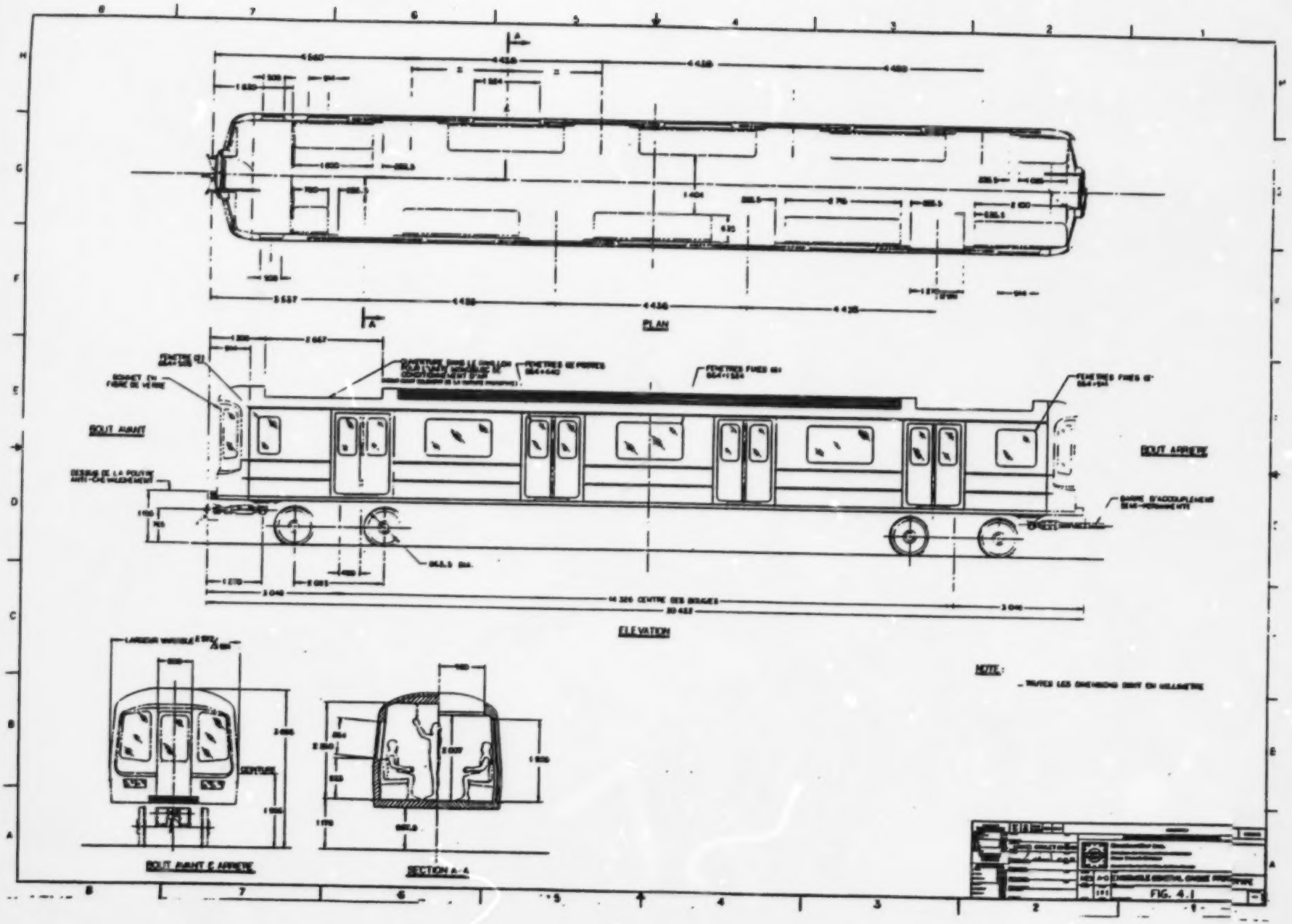
La structure de bouts est constituée de deux groupes de composants. Le premier groupe est composé de deux poteaux de collision, de deux poteaux de coins, d'une poutre anti-télescopage au niveau du pavillon et du revêtement de tôle unie qui, esthétiquement, pourra être recouvert de panneaux de fibre de verre.

Le deuxième groupe est constitué de la traverse de pivot, des deux brancards intérieurs, d'une poutre de traction, des traverses du plancher, des tôles du sous-châssis, d'une traverse de bout et d'une poutre anti-chevauchement. La structure de bouts de la caisse protège l'habitacle des passagers advenant une collision. En cas de collision au niveau du plancher, ce groupe de composants absorbera l'impact et transmettra les charges aux faces et au pavillon, de même qu'il transmettra au bogie tous les chargements statiques et dynamiques résultant des mouvements verticaux, latéraux et longitudinaux de la caisse.

4.3.4 Sous-châssis central

Le sous-châssis central, situé entre les structures de bouts et constitué des traverses du plancher et des tôles du sous-châssis, recevra les panneaux du plancher et les feuilles d'isolant. Les traverses supporteront le poids des passagers et celui des équipements suspendus sous la caisse.

Pour simplifier la fabrication, les traverses seront identiques et seront toutes placées à la même hauteur. Elles pourront, suivant la position des points d'attache des équipements, être déplacées pour accommoder le montage de ceux-ci, contribuant ainsi à la polyvalence du design.


PLAN
ELEVATION
BOUT AVANT
BOUT ARRIERE
BOUT AVANT & ARRIERE
SECTION A-A
NOTE :
FIG. 4.1

1 STRUCTURE DE FACE

(DROITE & GAUCHE)

(* VOIR LA FIG: 4.1.2)

A)* TOLE DE REVETEMENT SUPERIEURE
B)* TOLE DE REVETEMENT INFERIEURE
C) BRANCARD
D) VOUSSOIR
E) GARNITURE DE PORTE
F) MONTANT DE FENETRE
G) MONTANT INTERMEDIAIRE
H) MONTANT DE PORTE
I) MONTANT DE BOUT
J) DEMI MONTANT SUPERIEURE
K) DEMI MONTANT INFERIEURE
L) RAIDISSEUR DE TOLE DE REVETEMENT
M) RAIDISSEUR DE FENETRE
N) RAIDISSEUR DE CEINTURE

2 STRUCTURE DE PAVILLON

(* VOIR LA FIG: 4.1.2)

A)* TOLE ONDULEE
B)* TOLE DE COIN
C) TRAVERSE DE BOUT
D) TRAVERSE INTERMEDIAIRE
E) ATTACHE DE TRAVERSE
F) LONGERON
G) CLOISON DE BOUT
H) CONDUIT DE VENTILATION

3 STRUCTURE DE BOUT

(AVANT & ARRIERE)

A) POTEAUX DE COLLISION
B) POTEAUX DE COIN
C) STRUCTURE ANTI-TELESCOPAGE
D) PANNEAUX DE CISAILLEMENT AVANT
E) PANNEAUX DE CISAILLEMENT LATERAL

4 STRUCTURE SOUS - CHASSIS

(BOUT AVANT & ARRIERE)

A) POUTRE ANTI-CHEVAUCHEMENT
B) TRAVERSE DE BOUT

5 STRUCTURE SOUS - CHASSIS CENTALE

A) TRAVERSE

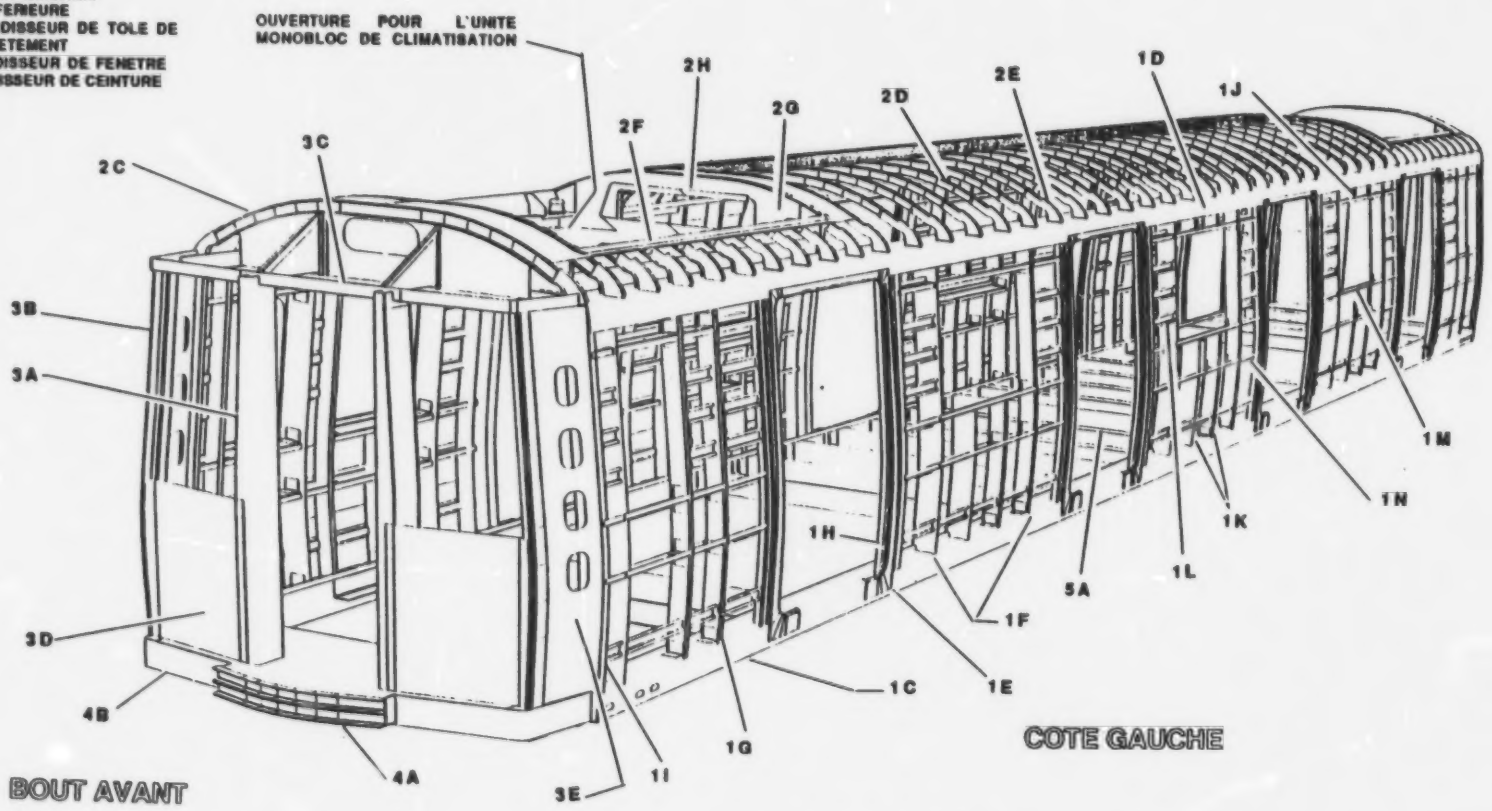


FIG: 4.1.1 NOMENCLATURE DU CHAUDRON

1 STRUCTURE DE FACE
GAUCHE & DROITE)

A) TOLE DE REVETEMENT SUPERIEURE
B) TOLE DE REVETEMENT INFERIEURE
C) GARNITURE DE PORTE

2 STRUCTURE DE PAVILLON

A) TOLE ONDULEE
B) TOLE DE COIN (AVEC GOUTTIERE)
C) TRAVERSE DE BOUT

3 STRUCTURE DE BOUT
(AVANT & ARRIERE)

A) POTEAUX DE COLLISION
B) POTEAUX DE COIN
C) STRUCTURE ANTI-TELESCOPAGE
D) PANNEAUX DE CISAILLEMENT AVANT
E) PANNEAUX DE CISAILLEMENT LATERAL

4 STRUCTURE SOUS - CHASSIS
(BOUT AVANT & ARRIERE)

A) POUTRE ANTI-CHEVAUCHEMENT
B) TRAVERSE DE BOUT

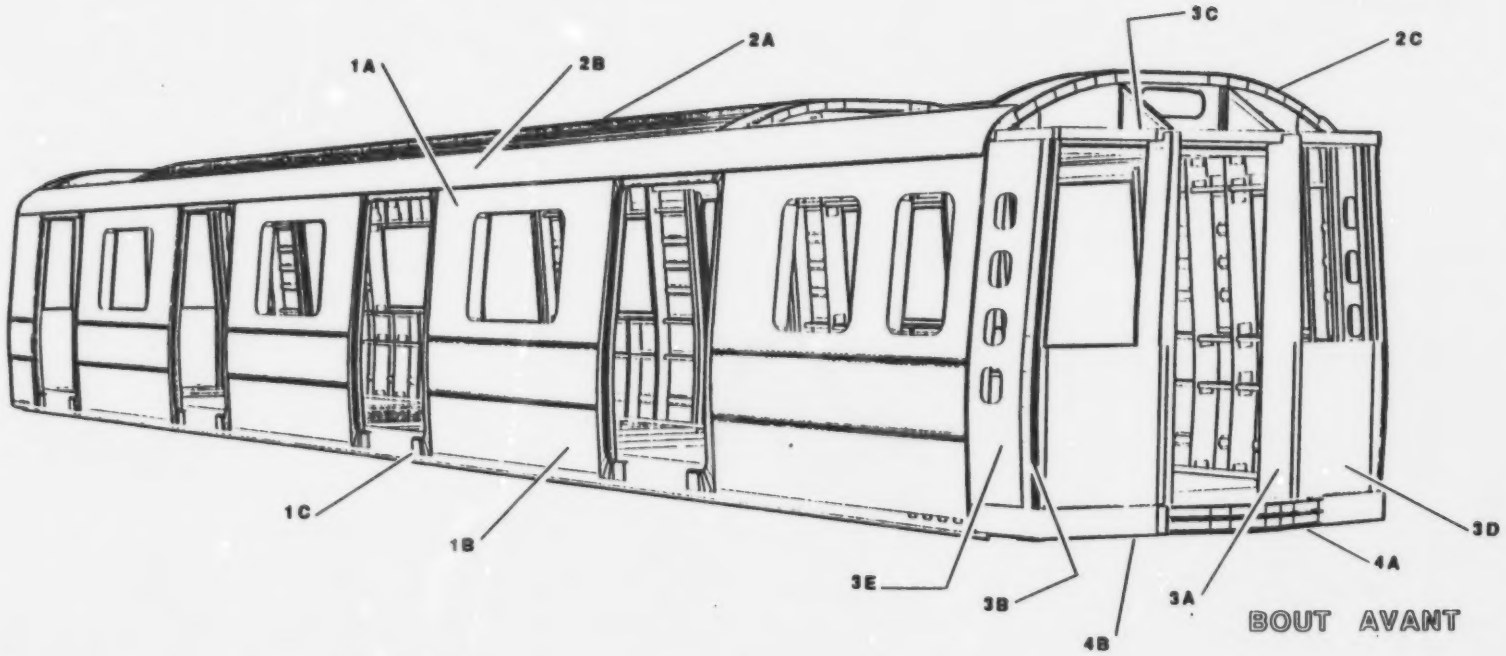


FIG: 4.1.2 NOMENCLATURE DU CHAUDRON

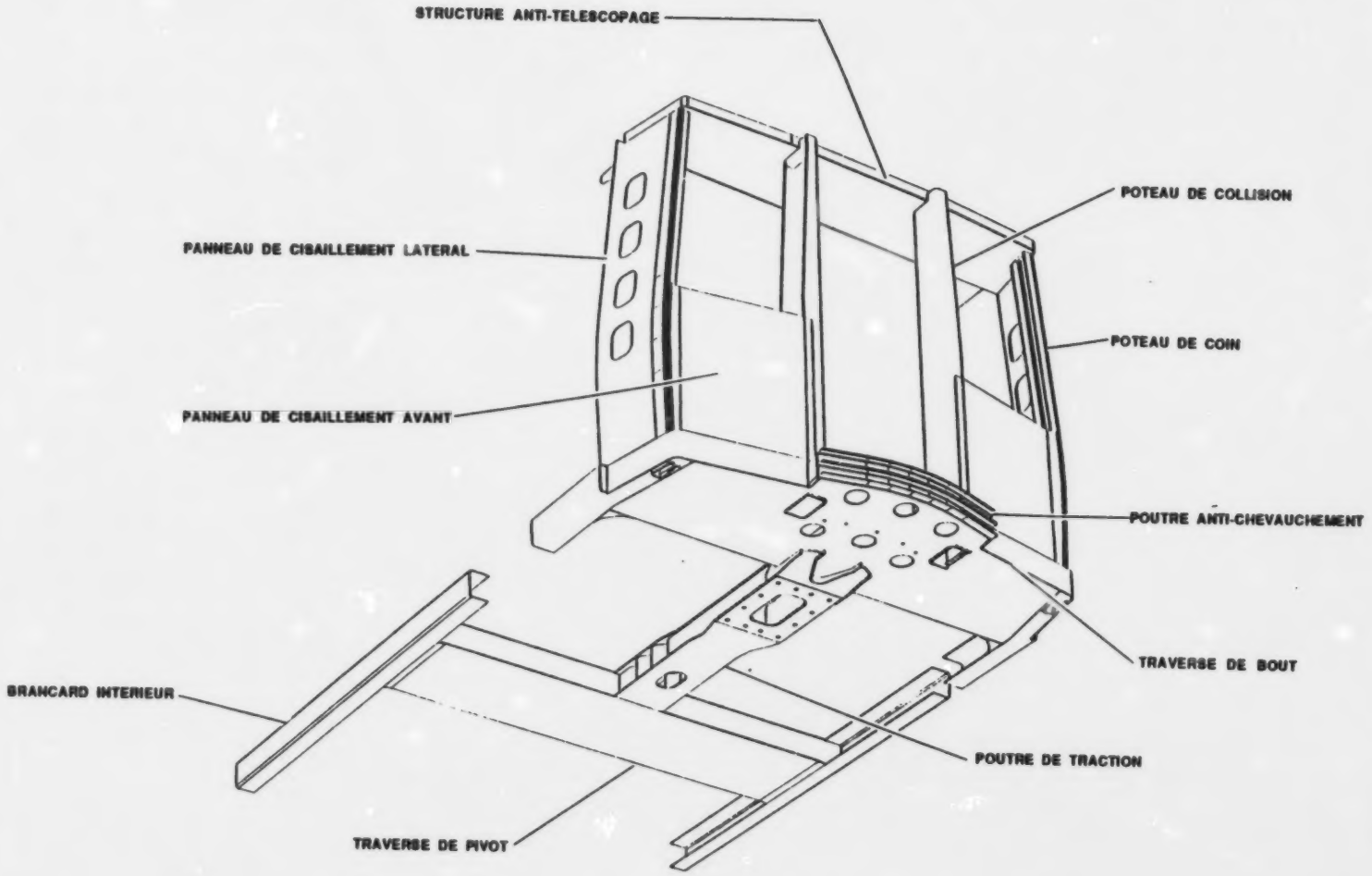
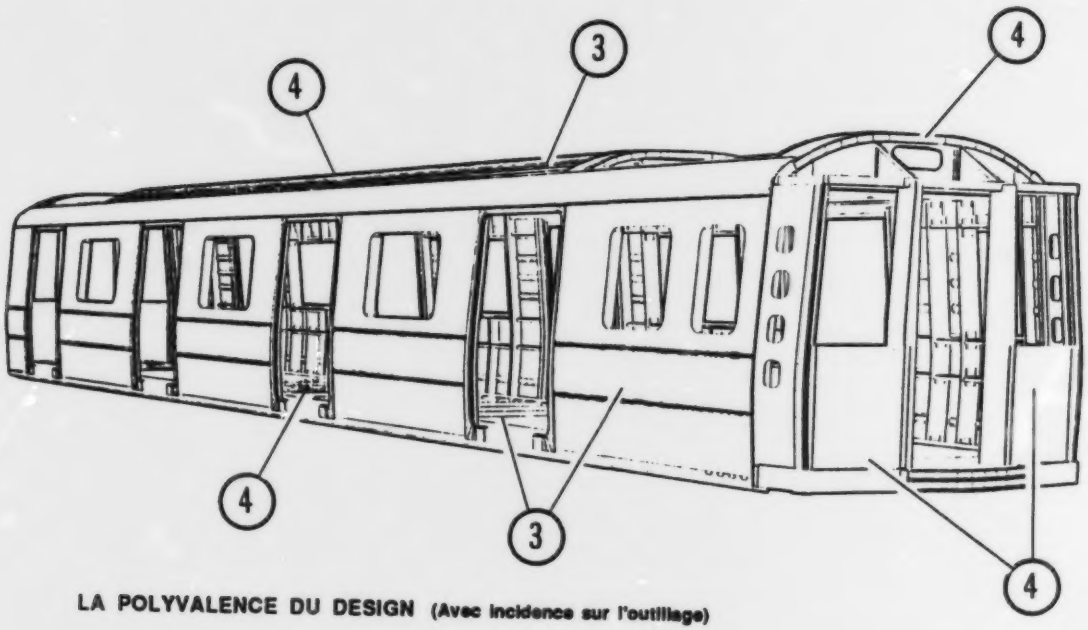


FIG: 4.1.3 NOMENCLATURE CHASSIS
(AVANT & ARRIERE)



LA POLYVALENCE DU DESIGN (Avec incidence sur l'outillage)

1 - POSITIONNEMENT DES PORTES SELON L'AXE LONGITUDINAL

2 - DISPOSITION ET FORME DES FENETRES DE FACE

3 - AJUSTABILITE DE LA LONGUEUR (3)

-PAR LE CHANGEMENT DE LONGUEUR DES STRUCTURES DE FACE & PAVILLON & SOUS-CHASSIS CENTRAL

4 - AJUSTABILITE DE LA LARGEUR (4)

-PAR LE CHANGEMENT DE LARGEUR, DES STRUCTURES DE BOUT, DES TRAVERSES DE PLANCHER, DES TRAVERSES DE PAVILLON, ET DE LA TOLE CENTRALE DU PAVILLON ET DU PLANCHER

5 - POSITIONNEMENT DES TRAVERSES DU PLANCHER

-POSITIONNEMENT LONGITUDINAL SELON LES EQUIPEMENTS

6 - LOGE DE CONDUITE

-POSSIBILITE DE 0 , 1, 2 LOGE (S)

7 - UNITE DE CLIMATISATION

- MONOBLOC
- SEPARE

8 - ATTACHEMENT ET DISPOSITION DES SIEGES

- FIXATION AU MUR UNIQUEMENT "EN PORTE-A-FAUX",
- FIXATION AU PLANCHER / MUR "PIEDESTAL"
- DISPOSITION LONGITUDINALE, OU TRANSVERSALE,
- DISPOSITION LONGITUDINALE & TRANSVERSALE

9 - ADAPTABILITE DU BOGIE

- PIVOT CENTRAL
- BARRES DE TRACTION

FIG: 4.1.4 POLYVALENCE DU DESIGN

SECTION 5

ANALYSE STRUCTURALE

5.1 INTRODUCTION

L'analyse structurale a pour but de vérifier si la structure de la caisse résistera adéquatement à toutes les charges conformément aux principaux critères de chargement présentés à la section 5.2. Elle servira également à identifier les composants de la structure qui sont trop sollicités ainsi que ceux qui sont sur-dimensionnés et qui, une fois modifiés, aideront à réduire le poids de la caisse. Les résultats des analyses serviront aussi à déterminer l'emplacement des jauges de contraintes qui seront utilisées au cours de l'essai statique de la caisse prototype.

Comme indiqué précédemment, les critères de chargement les plus sévères parmi les exigences sont appliqués à la caisse prototype.

5.2 CRITÈRES DE CHARGEMENT

5.2.1 Charge verticale

a) Codes de chargements

	(kg)
AW0: Masse de la voiture à vide, sans bogie	20 400
AW1: AW0 plus la masse des passagers assis	24 300
AW2: AW1 plus la masse des passagers debout (4 passagers/m2)	34 100
AW3: AW1 plus la masse des passagers debout (8 passagers/m2)	43 800
W: Masse des équipements attachés à la caisse; inclus dans AW0	5 000
Masse de deux (2) bogies pour fins d'analyses	13 600

b) **Charge statique**

Les contraintes présentes dans les structures de la caisse ne doivent pas dépasser 40 % de la limite ultime du matériau ou 50 % de la limite de flambage pour les membrures soumises à la compression.

c) **Chargement dynamique**

La structure de caisse devra pouvoir résister à une charge dynamique de AW3 ± 15 % pour un nombre minimal de deux (2) millions de cycles avec un facteur de sécurité minimum de 1,5 (Marge de sécurité = 0,5).

d) **Rigidité**

La structure de caisse devra avoir préférablement une rigidité telle que la fréquence naturelle de son premier mode de flexion verticale soit de 9 à 10 Hz sans charge (AW0).

5.2.2 Chargements de compression à la limite élastique

Ces charges représentent les exigences les plus sévères pour ce type d'application. Toutes les charges suivantes sont appliquées simultanément, sauf exception:

	(daN)
a) Verticalement:	
- Charge due au poids de la caisse en service (AW0 ou AW3) x 2	40 000 ou 86 000
b) Longitudinalement:	
- À la poutre anti-chevauchement	222 500 *
ou	
- À l'attelage	133 500
c) Longitudinalement x 2:	19 600

* Cette valeur excède de 25 % l'exigence de la norme FRA.

5.2.3 Charges au poteau de collision

	(daN)
a) Charge ultime de cisaillement au plancher (axes longitudinal et transversal)	133 500[1]
b) Charge longitudinale à la limite élastique (0,457 m) au-dessus du plancher	56 100[2]

5.2.4 Charges au poteau de coin [3]

	(daN)
a) Charge ultime de cisaillement au plancher (axe longitudinal ou transversal)	4
b) Charge horizontale à la limite élastique (0,457 m)au-dessus du plancher (axe longitudinal ou transversal)	18 700[3]

5.2.5 Charges combinées en opération

Toutes les charges suivantes sont appliquées simultanément:

a) Verticalement:

- Poids + surcharge: 1,3 x (AW0 ou AW3)
- Équipements: (± 0,3) x W

b) Longitudinalement:

- À l'attelage: 22 300 daN
- Accélération/freinage: ± 0,25 X (AW0 ou AW3)
- Équipements: ± W

---

1 Selon la norme AAR; charge longitudinale seulement.

2 Selon les normes spécifiques des autorités clientes (appliquée à ± 15°).

3 Selon les normes spécifiques des autorités clientes.

4 Selon les normes AAR, la somme des modules de section de tous les poteaux verticaux ne doit pas être inférieure à 1065 cm^3.

c) Latéralement:

- Force centrifuge: telle que le véhicule repose sur ses quatre roues extérieures, en courbe
- Équipements: ± ,5 W

Les contraintes admissibles dans la caisse, dans ce cas spécifique, ne doivent pas dépasser 50 % de la limite élastique du matériau alors que, pour la traverse de pivot, celles-ci ne doivent pas excéder 40 % de la limite élastique.

5.2.6 Charges à l'interface caisse/bogie à la limite élastique

	(daN)
a) Charge horizontale à la hauteur de l'essieu:	66 820
b) Charge latérale, dans l'axe d'un essieu:	11 140

5.2.7 Charges de levage

a) Levage du bogie par la caisse : AWO + poids du bogie

Les contraintes dans les pièces du sous-châssis supportant le bogie ne doivent pas excéder 50 % de la limite élastique et 75 % de la limite élastique pour les autres composants.

b) Levage diagonal de la caisse sans bogie à 60% de la limite élastique: AWO

c) Levage à la poutre anti-chevauchement à la limite élastique : 44 500 daN

5.2.8 Chargement statique sur le pavillon

Le pavillon est conçu pour supporter sans déformation permanente trois travailleurs de 113 kg chacun et espacés de 0,76 m.

5.2.9 Résistance en cas de collision

La caisse sera conçue pour avoir une capacité maximale d'absorption d'énergie en cas de collision. On devra donc répondre à la condition suivante:

- Lors d'une collision sur une section de voie droite et avec les poutres anti-chevauchement engagées l'une dans l'autre, la déformation de la structure devra s'effectuer progressivement à partir du bout.

5.3 MÉTHODES D'ANALYSE

La faisabilité de la caisse prototype a été démontrée par les résultats des analyses décrites ci-après. Ces analyses servent de guide pour valider le concept et seront reprises quand l'ingénierie de détails sera complète pour, entre autres, permettre de simuler le comportement de la caisse durant les essais de compression.

5.3.1 Analyse statique

L'analyse structurale est effectuée en utilisant le programme d'éléments finis "ANSYS" de "Swanson Analysis System". Le modèle d'analyse a simulé une demi-caisse et est constitué d'un assemblage d'éléments finis, de poutres, de barres et de plaques. Le modèle d'analyse est présenté à la figure 5.5.

5.3.2 Analyse modale

Afin de vérifier la rigidité de la caisse, une analyse modale sur un modèle simplifié de la caisse a été effectuée. Au cours de la phase II, une analyse de vérification sera réalisée en utilisant une méthode numérique avancée. Pour cette analyse, le programme "ANSYS" et une version modifiée du modèle de l'analyse statique seront utilisés.

5.3.3 Analyse de fatigue

L'analyse de fatigue se fait suivant les critères de l'AAR pour les voitures de marchandises.

Les résultats de l'analyse statique pour le chargement vertical à AW3 ont été utilisés pour calculer la vie en fatigue de la caisse.

5.4 PROPRIÉTÉS MÉCANIQUES ET CONTRAINTES PERMISES

Les tableaux 5.4.1 à 5.4.3 présentent:

- La spécification des matériaux et des divers composants de la caisse.
- Les propriétés mécaniques des matériaux.
- Les contraintes maximales permises de chaque matériau pour chacun des cas de chargement.

Les contraintes maximales permises indiquées au tableau 5.4.3 ne s'appliquent qu'aux composants ou à ses parties sollicitées en tension. Pour les composants ou ses parties lorsqu'en compression, les valeurs permises sont déterminées par les limites de flambage. Ces limites ont été prises en considération lors de l'évaluation de chacun des composants de la caisse conformément aux critères de chargement.

Tableau 5.4.1 Spécifications des matériaux

Matériaux	Composants de la caisse
Acier inoxydable 301 L	Sous-ensembles entiers: . du pavillon . des faces . du sous-châssis central Structures de bouts: . tôles de revêtement . poutres anti-télescopage
Acier à haute résistance faiblement allié HSLA 85	. sous-châssis des bouts . poteaux de coin et poteaux de collision

Tableau 5.4.2 Propriétés mécaniques

Matériaux	Propriétés mécaniques (N/mm^2)	
	Capacité ultime (minimum)	Limite élastique (minimum)
Acier inoxydable 301 L	840,00	520,00
Acier à haute résistance HSLA 85	660,00	590,00

Tableau 5.4.3 Contraintes maximales permises

Critères de chargement	Contraintes maximales permises (N/mm^2) en tension	
	Acier inoxydable 301 L	HSLA 85
5.2.1 (b)	335	265
5.2.2, 5.2.3 (b) 5.2.4 (b) 5.2.7 (c) 5.2.8	520	590
5.2.3 (a)	490[1]	380[1]
5.2.6	-	660
5.2.5, 5.2.7 (a) (sous-châssis)	260	295
5.2.5(traverse de pivot)		235
5.2.7 (a) (autres que sous-châssis)	390	440
5.2.7 (b)	310	355

1 Contrainte maximale en cisaillement.

5.5 RÉSULTATS DES ANALYSES

Le présent rapport inclut les résultats de l'analyse statique et de l'analyse en fatigue qui sont présentés aux sections 5.5.1 et 5.5.2. Un résumé des évaluations des divers composants de la caisse et une liste d'actions à entreprendre se trouvent à la section 5.5.3.

L'analyse modale a été effectuée par calculs en utilisant la déflexion verticale maximum obtenue pour le cas de chargement vertical le plus sévère. Les résultats ont permis d'évaluer le premier mode de vibration de la caisse à AW0, soit une fréquence naturelle de 9,7 Hz satisfaisant ainsi au critère de chargement présenté au point 5.2.1d.

5.5.1 Résultats de l'analyse statique

Les résultats de l'analyse statique sont résumés dans les tableaux 5.5.1 à 5.5.6 pour chacun des composants principaux de la caisse. Les différents tableaux incluent:

- Les critères de chargement les plus critiques.
- Les régions et/ou les composants qui sont les plus sollicités.
- Les contraintes calculées et les contraintes permises.
- Les marges de sécurité par rapport aux contraintes permises.

Tableau 5.5.1 Sommaire des résultats de l'analyse statique

Sous-ensemble: Pavillon.

Critère de chargement le plus critique: 5.2.5/Charges combinées en opération
5.2.8/Chargement statique sur le pavillon

Composant le plus sollicité: Région autour de l'ouverture pour l'unité d'air climatisé

Composants	Repères/ Fig.5.5.1	Contraintes (N/mm^2) calculées	permises	Marges de sécurité
Critère 5.2.5				
Traverse	3	-262,00	-230,00	-0,12
Longeron	6	-203,00	-187,00	-0,08
Tôle de revêtement	4	-145,00	-158,00	+0,08
Critère 5.2.8				
Traverse	9	-417,00	-442,00	+0,06

Tableau 5.5.2 Sommaire des résultats de l'analyse statique

Sous-ensemble: Faces

Critère de chargement le plus critique: 5.2.5/Charges combinées en opération

Composant le plus sollicité: Région de la porte de côté au bout de la caisse

Composants	Repères/ Fig.5.5.1	Contraintes (N/mm^2) calculées	permises	Marges de sécurité
Montant de porte	12	-182,00	-223,00	+0,22
Voussoir	7	-307,00	-260,00	-0,15
Brancard	11	-238,00	-245,00	+0,03

Tableau 5.5.3 Sommaire des résultats de l'analyse statique

Sous-ensemble: Faces

Critère de chargement le plus critique: 5.2.5/Charges combinées en opération

Composants les plus sollicités : Montants de fenêtres, raidisseurs et tôles de revêtement

Composants	Repères/ Fig.5.5.1	Contraintes (N/mm^2) calculées	permises	Marges de sécurité
Montant de fenêtre	5	-144,00	-166,00	+0,15
Raidisseur longitudinal	13	+138,00	+260,00	+0,88
Tôle de revêtement	14	+56,00[1]	+76,00[1]	+0,36

Tableau 5.5.4 Sommaire des résultats de l'analyse statique

Sous-ensemble: Structure de bouts

Critères de chargement les plus critiques: 5.2.3/Charges au poteau de collision

Composants les plus sollicités: Poteaux de collision

Composants	Repères/ Fig.5.5.1	Contraintes (N/mm^2) calculées	permises	Marges de sécurité
Poteaux de collision re:				
critère 5.2.3 (a)	1	+326,00	+380,00	+0,16
critère 5.2.3 (b)	2	-446,00	-511,00	+0,14

1 Contrainte maximale en cisaillement

Tableau 5.5.5 Sommaire des résultats de l'analyse statique

Sous-ensemble: Structure de bouts

Critères de chargement les plus critiques: 5.2.2/Charge de compression

Composants les plus sollicités: Voir tableau ci-dessous

Composants	Repères/ Fig. 5.5.1	Contraintes (N/mm^2) calculées	Contraintes (N/mm^2) permises	Marges de sécurité
Charge de compression à l'attelage				
Poutre de traction	15	+672,00	+590,00	-0,12
Traverse de pivot	16	+442,00	+590,00	+0,33
Charge de compression à la poutre anti-chevauchement				
poutre anti-chevauchement:	17	-603,00	-590,00	-0,02
Traverse de bout:				
. section en "C"	18	+262,00	+590,00	+1,25
. plaque supérieure	19	-402,00	-590,00	+0,46
. plaque inférieure	20	-584,00	-590,00	+0,01

Tableau 5.5.6 Sommaire des résultats de l'analyse statique

Sous-ensemble: Structure du sous-châssis de bouts

Critères de chargement les plus critiques: 5.2.1 (b)/Charge verticale à AW3
5.2.5/Charges combinées en opération

Composant le plus sollicité: Traverse de pivot

Composants	Repères/ Fig.5.5.1	Contraintes (N/mm^2) calculées	permises	Marges de sécurité
Traverse de pivot re:				
critère 5.2.1 (b)	16	+186,00	+265,00	+0,42
critère 5.2.5	16	-229,00	-235,00	+0,03

Tableau 5.5.7 Faisabilité de l'ajustement de la longueur et de la largeur de la caisse

CHANGEMENTS POSSIBLES	COMPOSANTS AFFECTÉS	CRITÈRE DE CHARGEMENT	CAISSE PROTOTYPE		CAISSE MODIFIÉE	
			Dimension	M.S.	Dimension	M.S.
. LARGEUR (M)						
. au niveau du voussoir	Traverse du pavillon	5.2.5 5.2.8	2,743	-0,12 +0,06	2,896	-0,17 +0,00
- au niveau du plancher	Traverse de pivot	5.2.1 (b) 5.2.1 (c) 5.2.2 5.2.5	3,048 3,048 3,048 3,048	+0,42 +0,52 +0,33 -0,03	3,200 3,200 3,200 3,200	
	Traverser de bout: . plaque sup. . plaque inf. . section en "C"	5.2.2 5.2.2 5.2.2 5.2.2	3,048 3,048 3,048 3,048	- +0,46 +0,01 +1,25	3,200 3,200 3,200 3,200	- +0,46(3) +0,01(3) +1,14
LONGUEUR (m)	Longeron du pavillon	5.2.5	20,422	-0,08	22,86	-0,08(3)
	Tôle de revêtement, pavillon	5.2.5	20,422	+0,08	22,86	-0,02
	Voussoir (2)	5.2.5 5.2.5 5.2.5	20,422 20,422 20,422	-0,15 +0,03 +0,22	22,86 22,86	-0,15(3) +0,03(3) +0,22

Note/Légende:
M.S = marge de sécurité
(1) = largeur maximum ou longueur maximum visée
(2) = dans la région de la porte de côté, voir la figure 5.5.1/repères nos 7 et 11
(3) = pas critique par rapport au changement de longueur dans les régions repérées à la figure 5.5.1

5.5.2 Analyse de fatigue

L'analyse de fatigue a été effectuée suivant les directives d'AAR pour les voitures de marchandises. En utilisant les classifications de détails énoncées par l'AAR, les divers composants de la caisse sont divisés en deux groupes principaux. Le critère de regroupement est basé sur les types de soudure utilisés pour lier les composants. Ainsi les composants liés par des soudures par point ou en bouchon ou en entaille forment le premier groupe. Le deuxième groupe englobe les composants joints par des soudures sur chanfreins et des soudures d'angle.

Contraintes maximum et minimum

Pour fins de calculs en fatigue, les contraintes maximum et minimum ont été calculées à partir des résultats de l'analyse statique sous le chargement vertical AW3. Suivant le critère 5.2.1 (c), elles correspondent respectivement à 115 % (contrainte maximale) et 85 % (contrainte minimale) de la contrainte existante sous le chargement AW3. Les valeurs pour les composants les plus sollicités de la caisse sont résumées ci-dessous.

Groupe/Composants	Contraintes (N/mm^2)		
	sous AW3	maximale	minimale
1/brancard région de la porte	+90,00	+104,00	+77,00
2/traverses de pivot	+186,00	+214,00	+158,00

Limites d'endurance permises (Se)

La limite d'endurance permise correspond à la contrainte maximale qui produira une rupture en fatigue pour une vie de deux millions de cycles. Elles est calculée comme suit:

$$Se = \frac{b}{1-mR}$$

où : b = la limite d'endurance lorsque la valeur de R = 0; la valeur de "b" varie selon les classifications de détails et les propriétés des matériaux

m = La pente du diagramme de "Goodman"

R = Contrainte minimale / Contrainte maximale

= $\frac{0,85}{1,15}$ = +0,74 pour tous les composants de la caisse suivant le critère 5.2.1 (c)

Les limites d'endurance permises sont résumées ci-dessous:

Groupes/Composants	Repères: classifications de détails selon les directives d'AAR	b (N/mm^2)	m	Se (N/mm^2)
1/brancard	Détail nos 6.1	47,00	0,96	+162,00
2/traverses de pivot	Détail nos 7.4.2.5.2	85,00	1,0	+327,00

Marges de sécurité (M.S.)

Pour le brancard : M.S. = $\frac{162}{104}$ -1 = +0,55

Pour traverse du pivot: M.S. = $\frac{327}{214}$ -1 = +0,52

5.5.3 Sommaire d'évaluation et liste des actions à entreprendre

a) Introduction

L'évaluation des composants de la caisse dans le rapport actuel est basée sur les résultats de l'analyse statique, de l'analyse de fatigue et de l'analyse modale préliminaire. Elle devra être révisée lorsque les résultats de l'analyse de l'ingénierie de détails aura été complétée, pendant la phase II du projet.

b) Sommaire d'évaluation

En se basant sur les analyses effectuées, la majorité des composants de la caisse répondent à tous les critères de chargement et ont des marges de sécurité adéquates.

Le concept du pavillon muni d'une ouverture permettant l'installation de l'unité d'air climatisé monobloc à chaque bout est jugé acceptable. Les analyses ont aussi démontré que la traverse de bout, la tôle de revêtement et certains raidisseurs de face pourront être optimisés pour réduire le poids.

Certains composants de la caisse ont été jugés insuffisants ou marginaux sous les charges de compression (critère 5.2.2) et sous les charges combinées en opération (critère 5.2.5). La poutre de traction et la poutre antichevauchement (repères 15 et 17[1]) ne répondent pas au critère 5.2.2. Cependant, une légère modification du design de ces deux composants les rendront acceptables.

La traverse et le longeron entourant l'ouverture du pavillon (repères 3 et 6[1]) et le voussoir (repère 7[1]) sont actuellement inadéquats. Ils devront être renforcés pour répondre au critère 5.2.5.

5.5.3 c) Largeur et longueur de la caisse

La faisabilité de l'ajustement de la largeur et de la longueur de la caisse sont vérifiées de la façon suivante: Les résultats de contrainte et les marges de sécurité obtenues pour la caisse prototype analysée sont réévaluées au prorata de l'augmentation de la longueur (20,42 m à 22,86 m) ou de l'augmentation de la largeur (3,05 m à 3,20 m) pour les cas de chargement

---

[1] Voir la figure 5.5.1

pour lesquels la largeur et/ou la longueur du véhicule a de l'influence. Les résultats des composants les plus critiques du tableau 5.5.7 démontrent, du point de vue contrainte mécanique, la faisabilité de l'ajustement de la longueur et de la largeur de la caisse. Ce tableau montre également quel cas de chargement le plus sévère guide le design de ces composants.

d) Liste des actions à entreprendre avant la construction du prototype

Le tableau ci-dessous résume les analyses à compléter et les actions à entreprendre afin d'assurer l'intégrité de la caisse prototype conformément aux critères de chargement. On y retrouve aussi l'optimisation du design à apporter pour réduire le poids de la caisse. Il faut noter cependant que celle-ci sera réalisée seulement quand l'ingénierie de détails prévue à la phase II du projet aura été complétée.

Composants	Actions à entreprendre
Caisse entière:	À compléter:
	. Analyse modale par méthode numérique
	. Analyse des connexions
Voussoir:	. Modification locale dans les régions de la porte
Traverse et longeron autour de l'ouverture du pavillon:	. Modification locale
Poutre de traction, poutre antichevauchement:	. Modification locale
Traverse de bout, tôle de revêtement et raidisseurs de face:	. Optimisation du design pour alléger les composants

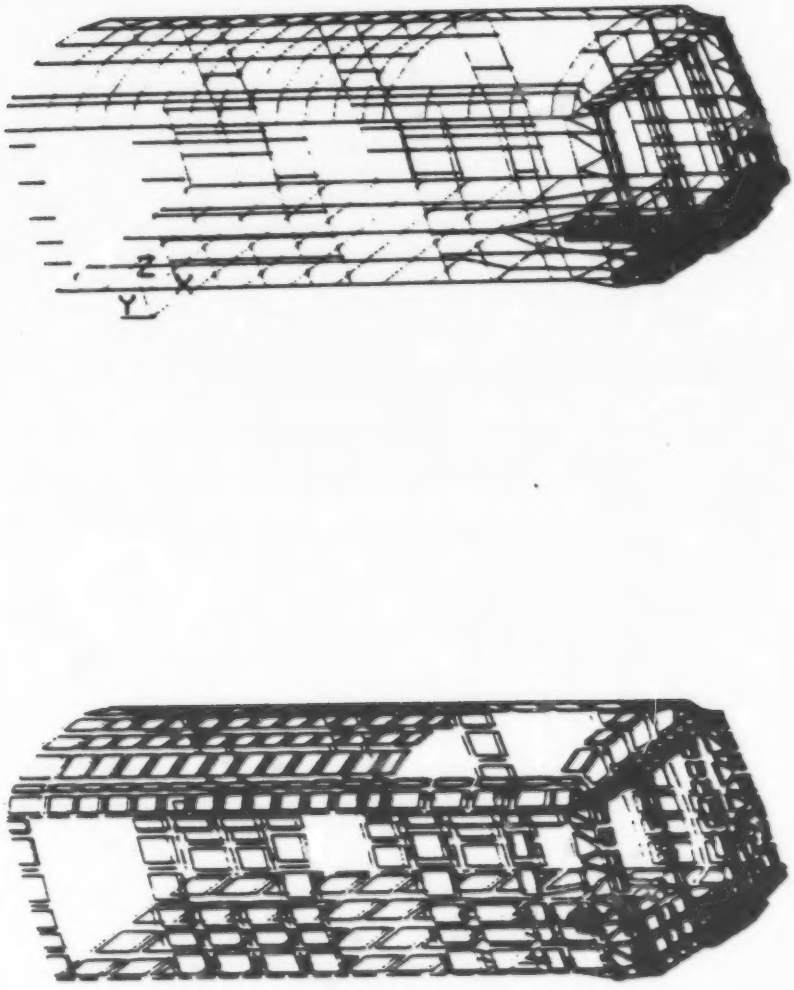


Fig. 5.5: MODELE POUR L'ANALYSE PAR ELEMENTS FINIS

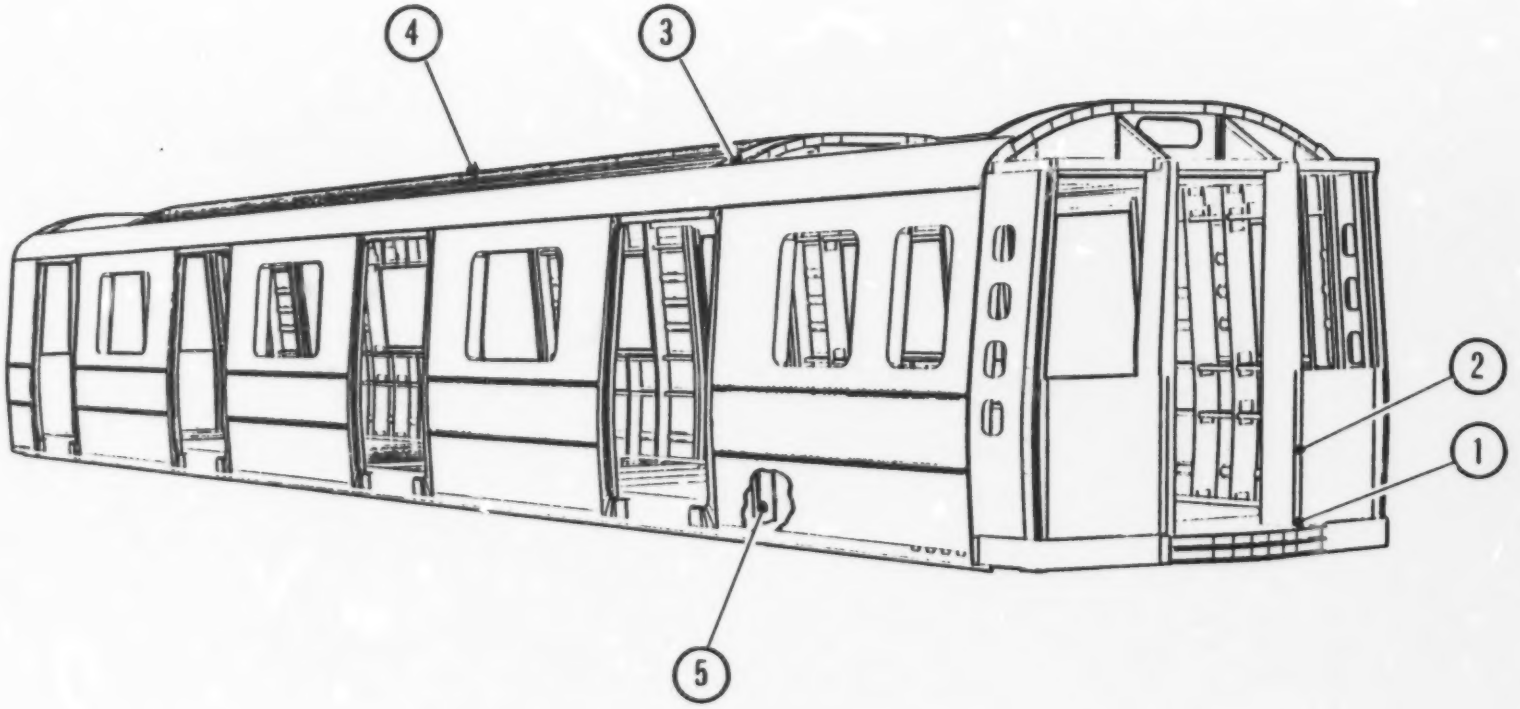


FIG: 5.5.1/1 REGIONS CRITIQUES

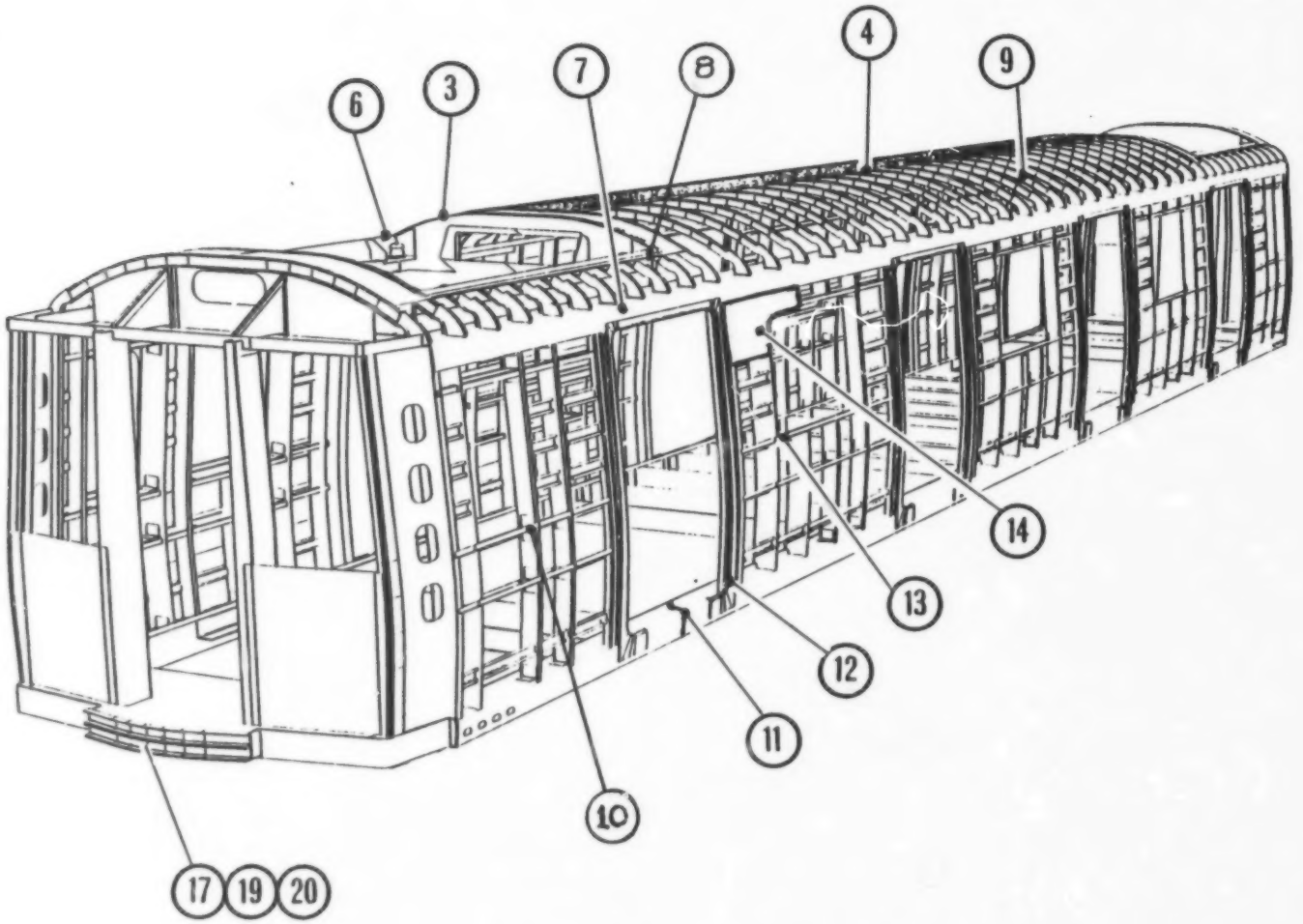


FIG: 5.5.1/2 REGIONS CRITIQUES

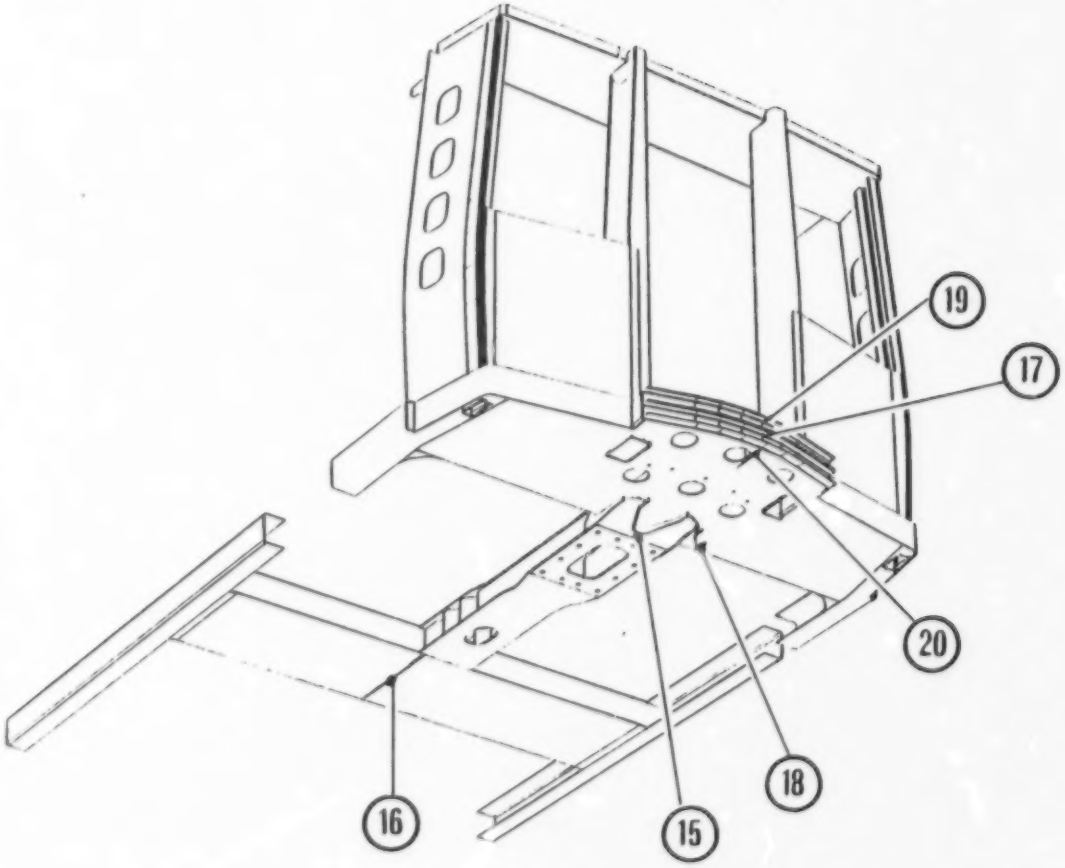


FIG: 5.5.1/3 REGIONS ET COMPOSANTS CRITIQUES

SECTION 6

CONCLUSION

Les travaux faits en phase I démontrent qu'il est possible de concevoir une caisse pour métro grand gabarit qui puisse répondre au premier objectif préalablement posé, soit de développer un design de caisse en acier inoxydable qui soit en mesure de répondre adéquatement aux besoins du marché. Les autres objectifs seront complètement atteints au cours de la phase II, à savoir, contribuer au développement des fournisseurs locaux pour le matériel spécialisé et maitriser la technologie de caisse de métro de type grand gabarit.

Le design polyvalent de cette caisse et de l'outillage qui servira à l'assembler pourra, par exemple, nous permettre d'obtenir des caisses de longueurs variant de 20 m à 23 m, symétriques par rapport à l'axe longitudinal, possédant des sièges supportés par les faces ou par le plancher, etc. La polyvalence d'un tel outillage d'assemblage contribuera à maintenir les coûts de production à un niveau minimal puisqu'il pourra servir à la fabrication d'une famille de caisses. La caisse prototype sera conçue et fabriquée conformément aux demandes les plus sévères afin de répondre aux exigences variées des clients nord-américains.

Cette première phase du projet a aussi permis de mieux préciser les paramètres de design suite à une meilleure compréhension des besoins futurs du marché.

Suite aux conclusions des études effectuées en phase I, Bombardier propose de poursuivre le projet tel qu'il avait été originellement défini, c'est-à-dire de fabriquer et de tester la caisse prototype décrite à la section 4 en suivant les étapes définies au point 1.3.2.

Gouvernement du Québec
Ministère
des Transports

89-06